

Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia
Unitat d'Ecologia
Facultat de Ciències
UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

**DEPOSICIÓ ATMOSFÈRICA EN DOS ALZINARS (*Quercus ilex* L.)
DEL MONTSENY SOTMESOS A UNA EXPOSICIÓ CONTRASTADA
DE CONTAMINANTS DE L'ÀREA BARCELONINA I VALLESANA**

Memòria presentada per Anselm Rodrigo Domínguez
per a optar al Grau de Doctor en Ciències Biològiques
per la Universitat Autònoma de Barcelona

Vist i plau:
La Directora de la Tesi



Dra. Anna Àvila i Castells

Bellaterra, març de 1998.

O Index

1 INTRODUCCIÓ GENERAL	6
1.1 Interés de la quantificació de les entrades d'aigua de pluja i dels elements químics en alzinars	6
1.2 Objectius generals del treball	8
1.3 Definicions i terminologia	9
1.3.1 Terminologia pels fluxos hidrològics	9
1.3.2 Terminologia pels fluxos de deposició atmosfèrica	11
1.4 Estructuració de la tesis	15
2 MATERIAL I MÈTODES	18
2.1 Àrea d'estudi	18
2.1.1. Estació de La Castanya (LC)	18
2.1.2. Estació de Riera de Sant Pere de Vilamajor (RP)	19
2.1.3 Estructura dels dos alzinars	21
2.2. Dispositiu experimental	24
2.2.1. Ubicació i mostreig dels col·lectors de la deposició global	24
2.2.2. Ubicació i mostreig dels col·lectors del trascol	29
2.2.2.1 Determinació del coeficient de pluja lliure	30
2.2.3 Col·lectors de l'escolament cortical: ubicació i mostreig	30
2.2.4. Ubicació de les estacions meteorològiques	31
2.2.5. Inici del mostreig	32
2.2.6 Interval de temps entre mostres	33
2.3. Anàlisi de les mostres	33
2.3.1. Tècniques analítiques i protocol d'anàlisi	33
2.3.2. Neteja del material	37
2.3.3 Qualitat analítica	38
2.3.4 Agrupament de les mostres	38
2.3.5. Valors faltants	40
2.4. Càlcul de la hidrologia i de la química dels diferents fluxos a nivell setmanal i anual.	41
2.4.1. Càlcul del volum d'aigua	41
2.4.2 Càlcul de les concentracions mitjanes ponderades per volum	42
2.4.3. Càlcul del pH i l'alcalinitat d'un període.	43
2.4.4. Càlcul dels aportos químics setmanals i anuals.	46
2.4.5. Valors no detectats	48
2.4.6 Períodes utilitzats en els diferents càlculs	48
2.5 Tractament estadístic	49

3 COMPORTAMENT HIDROLÒGIC DE LA PRECIPITACIÓ, EL TRASCOL I L'ESCOLAMENT CORTICAL A DOS ALZINARS DEL MONTSENY	52
3.1 Introducció	52
3.2 Metodologia	54
3.2.1 Número de precipitacions per mostreig setmanal	54
3.2.2 Correccions del trascol per sobreiximent de col·lectors	55
3.2.3 Càlcul de les variables meteorològiques	55
3.2.4 Tractament estadístic	56
3.3. Resultats	59
3.3.1 Quantificació dels fluxos de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció	59
3.3.1.1 Valors globals	59
3.3.1.2 Comparació del volum de precipitació, de trascol, d'escolament cortical i de intercepció entre LC i RP.	60
3.3.1.3 Distribució de la quantitat setmanal de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció, segons el volum setmanal de precipitació.	62
3.3.2 Variabilitat temporal dels fluxos de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció	64
3.3.2.1 Magnitud i patró de la variabilitat	64
3.3.2.2 Variabilitat estacional	66
3.3.2.3 Variabilitat dels fluxos hidrològics en relació a les condicions meteorològiques	66
3.3.3 Variabilitat espacial del trascol.	72
3.3.3.1 Magnitud de la variabilitat espacial del trascol.	72
3.3.3.2 Variabilitat espacial del trascol al llarg del temps	75
3.3.3.3 Influència de l'estructura de la capçada en la variabilitat espacial del trascol	76
3.3.4 Variabilitat espacial del volum d'escolament cortical	79
3.3.4.1 Magnitud de la variabilitat espacial de l'escolament cortical	79
3.3.4.2 Variabilitat espacial de l'escolament cortical al llarg del temps	80
3.3.4.3 Influència de l'estructura de l'arbre en la variabilitat espacial del volum d'escolament cortical recollit per cadascun	81
3.3.5 Comparació entre la variabilitat espacial i temporal del trascol i de l'escolament cortical.	82
3.4. Discussió	84
3.4.1 Valors global de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció.	84
3.4.2 Percentatge de precipitació retingut per intercepció de la capçada.	85
3.4.3 Importància relativa del fluxos de trascol i escolament cortical en la partició de la precipitació.	88
3.4.4 Variabilitat temporal dels fluxos de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció.	95
3.4.5 Variabilitat dels fluxos hidrològics en relació a les condicions meteorològiques	97
3.4.6 Magnitud de la variabilitat espacial del trascol i l'escolament cortical	98
3.4.7 Relació entre volum de precipitació i la variabilitat espacial del trascol.	99
3.4.8 Variabilitat temporal de la distribució espacial del trascol i l'escolament cortical	100
3.4.9 Relació entre variables estructurals del bosc i distribució espacial del trascol i de l'escolament cortical	100
3.4.10 Comparació entre la variabilitat espacial i temporal del trascol i l'escolament cortical	103

4 DETERMINACIÓ DEL TAMANY DE MOSTRA EN L'ESTIMA DEL VOLUM DE TRASCOL	105
4.1 Introducció	105
4.2 Material i mètodes.	107
4.2.1 Dades utilitzades	107
4.2.2 Tractament estadístic	109
4.3 Resultats	112
4.4 Discussió	117
4.4.1 Variació de la dispersió de les mitjanes segons el nombre de col·lectors utilitzats.	117
4.4.2 Influència del volum de precipitació i del número de setmanes mostrejades en la dispersió de les mitjanes segons el nombre de col·lectors.	119
5 DEPOSICIÓ ATMOSFÈRICA DELS ELEMENTS QUÍMICS MAJORITARIS A DOS ALZINARS DEL MONTSENY	121
5.1 Introducció	121
5.2 Metodologia	124
5.2.1 Àrea d'estudi	124
5.2.2 Mostreig i càlcul de les variables setmanals	124
5.2.3 Qualitat analítica	125
5.2.4 Valors faltants	126
5.2.5 Valors no detectats	126
5.2.6 Tractament estadístic	126
5.3 Resultats	128
5.3.1 Concentracions de la deposició global, el trascol i l'escolament cortical	128
5.3.2 Aports anuals a la deposició global, el trascol i l'escolament cortical	131
5.3.3 Acidesa de la deposició global, el trascol i l'escolament cortical	134
5.3.4 Diferències entre zones en les concentracions iòniques i els aports de la precipitació en travessar la capçada	136
5.3.5 Variabilitat mensual de la deposició atmosfèrica	139
5.3.6 Relacions iòniques	145
5.3.6.1 Relacions iòniques a la deposició global	149
5.3.6.2 Relacions iòniques al trascol	150
5.3.6.3 Relacions iòniques a l'escolament cortical	152
5.3.7 Relació entre el volum de precipitació i la deposició global.	153
5.3.8 Relació entre el volum de precipitació i el trascol net.	155
5.4 Discussió	158
5.4.1 Composició química de la deposició global	158
5.4.2 Origen dels elements de la deposició global	161
5.4.2.1 Font d'alcalinitat i Ca^{2+} a la deposició global	161
5.4.2.2 Influència marina a la química de la deposició global	163
5.4.2.3 Fonts lligades a la contaminació antropocèntrica	165
5.4.3 Diferències en la deposició global entre LC i RP	167
5.4.4 Química del trascol i l'escolament cortical	168
5.4.4.1 Importància del rentat de deposició seca en l'enriquiment del trascol i l'escolament cortical.	169
5.4.4.2 Importància de la lixiviació d'elements interns de la capçada en l'enriquiment del trascol i l'escolament cortical.	174
5.4.4.3 Trascoll i escolament cortical del NO_3^- i NH_4^+ .	175
5.4.4.4 pH del trascol i l'escolament cortical	178

5.4.5 Diferències en el trascol i l'escolament cortical entre LC i RP.	180
5.4.8 Variabilitat espacial de la conductivitat entre els col·lectors de trascol	181

6 DEPOSICIÓ ATMOSFÈRICA D'ELEMENTS TRAÇA A DOS ALZINARS DEL MONTSENY **185**

6.1 Introducció	185
6.2 Material i mètodes.	188
6.2.1 Àrea d'estudi	188
6.2.2 Elecció dels metalls pesants a analitzar.	188
6.2.2 Qualitat analítica	189
6.2.3 Mostres faltants	190
6.2.4 Concentracions per sota del límit de detecció	190
6.2.5 Tractament estadístic	190
6.3 Resultats	192
6.3.1 Concentracions de metalls pesants a la deposició global, al trascol i a l'escolament cortical	192
6.3.2 Aports anuals de metalls pesants a la deposició global, el trascol i l'escolament cortical	193
6.3.3 Diferències en concentració i aports de metalls entre ambdues zones	195
6.3.4 Variabilitat mensual de la deposició atmosfèrica	197
6.3.5 Correlacions entre les concentracions setmanals dels metalls.	201
6.3.5.1 Relacions entre les concentracions setmanals dels metalls a la deposició global	202
6.3.5.2 Correlacions entre les concentracions setmanals dels metalls	204
6.3.5.3 Correlacions entre les concentracions setmanals dels metalls a l'escolament cortical.	206
6.3.6 Relació entre el volum de precipitació i la deposició global.	207
6.3.7 Relació entre el volum de precipitació i el trascol net	208
6.4 Discussió	210
6.4.1 Composició en metalls pesants de la deposició global.	210
6.4.2 Origen dels metalls pesants presents a la deposició global	210
6.4.2.1 Influència de les pluges de fang en la deposició global de metalls pesants.	212
6.4.2.2 Influència dels aeròsols marins a la deposició global de metalls pesants	213
6.4.2.3 Origen geogràfic de la deposició global de metalls pesants	213
6.4.3 Composició en metalls pesants del trascol i l'escolament cortical	215
6.4.4.1 Importància de la lixiviació d'elements de la capçada en l'enriquiment del trascol i l'escolament cortical.	216
6.4.4.2 Balanç entre l'efecte de la retenció i el rentat de la deposició seca d'aeròsols de la capçada en el contingut de metalls pesants del trascol i l'escolament cortical	218
6.4.5 Diferències en la deposició atmosfèrica de metalls pesants entre els boscos de LC i RP	221

7 ESTUDI DE LA DE DEPOSICIÓ SECA ACUMULADA SOBRE LES CAPÇADES I SUPERFÍCIES ARTIFICIALS A DOS ALZINARS DEL MONTSENY **223**

7.1 Introducció	223
7.2 Material i mètodes	226
7.2.1 Àrea d'estudi	226

7.2.2 Ubicació i mostreig de les superfícies artificials.	226
7.2.3 Protocol del rentat de branques.	227
7.2.4 Rentat seqüencial de branques	229
7.2.5 Càlcul dels aportes de l'aigua de rentat.	230
7.2.6 Tractament estadístic	230
7.3 Resultats	231
7.3.1 Rentats seqüencials de branques com a procediment per estimar la lixiviació.	231
7.3.2 Comparació de la deposició seca sobre fulles i sobre superfícies inerts	236
7.3.3 Variabilitat dels aportes entre zones i períodes d'exposició.	242
7.3.4 Relació entre la presència d'inflorescències i el contingut d'alguns elements a l'aigua de rentat de les branques superiors.	252
7.4 Discussió	254
7.4.1 Importància de la lixiviació en els aportes del rentat de branques.	254
7.4.2 Importància de la deposició seca en els aportes del rentat de branques.	256
7.4.3 Orientacions per futurs experiments de rentat de branques i superfícies artificials	263
7.4.4 Diferències entre la zona de LC i RP	264
8 CONTINGUT DE METALLS TRAÇA A <i>PARMELIA CAPERATA</i> (L:) ACH. EN RELACIÓ ALS FLUXOS DE DEPOSICIÓ GLOBAL, TRASCOL I RENTAT DE BRANQUES EN DOS ALZINARS DEL MONTSENY	266
8.1 Introducció	266
8.2. Material i mètodes	268
8.2.1 Àrea d'estudi	268
8.2.2. Obtenció de la concentració i els aportes de metalls pesants de la deposició global, el trascol i el rentat de fulles.	268
8.2.3 Anàlisi dels metalls pesants acumulats al tal.lus del líquen.	268
8.2.4 Tractament estadístic	269
8.3 Resultats i discussió	270
8.3.1 Comparació entre zones	270
8.3.2 Comparació del contingut dels metalls pesant en els líquens i en les variables de deposició.	275
8.4 Conclusions	276
9 CONCLUSIONS GENERALS	278
10 BIBLIOGRAFIA	284
11. APÈNDIX GENERAL	303

Capítol 1
Introducció general

1 Introducció general

1.1 Interés de la quantificació de les entrades d'aigua de pluja i dels elements químics en alzinars

Els estudis dels cicles de l'aigua i nutrients en boscos han estat rellevants en ecologia terrestre des de finals dels anys 60 i principis del 70 (Bormann and Likens, 1967, Likens et al, 1977). Els cicles de nutrients en un ecosistema són el resultat de la interacció entre: processos d'entrada, processos de sortida i de la circulació en el mateix ecosistema. Un bon coneixement dels processos d'entrada d'aigua de pluja i dels elements químics provinents de l'atmosfera, permet entendre millor la dinàmica global del cicle hidrològic i dels diferents cicles d'element químics a l'ecosistema, així com la possible resposta a canvis ambientals (Johnson and Lindberg, 1992).

Per altra banda l'explicació de diversos models biogeoquímics requereix una bona quantificació de les entrades per poder simular el funcionament de les diferents parts dels cicles o de la dinàmica global de tot l'ecosistema, per exemple a nivell de conca. Igualment models que es basen en variables meteorològiques i de la vegetació per estimar el nivell d'intercepció de la precipitació i la deposició atmosfèrica requereixen de la quantificació d'aquestes entrades d'aigua i elements per testar les seves estimacions (Likens et al, 1990, Rutter et al, 1975, Draaijers and Erisman, 1993).

L'altre gran interés en l'estudi de la deposició atmosfèrica ha estat l'acidificació de sòl i aigües dolces, així com l'entrada a l'ecosistema de contaminants amb un potencial tòxic, ja sigui per l'efecte que produeixen directament sobre els éssers vius (Lobersli et al, 1991, Smith, 1990) o bé indirectament per la seva acumulació a diferents compartiments dels ecosistemes (Friedland et al, 1984, Landmann and Bonneau, 1995, Neal et al, 1992, Lindberg et al, 1990, Reuss and Johnson, 1986, Smith and Siccama, 1981). Aquest elements potencialment tòxics provenen sobretot d'activitats antropogèniques i sovint tenen efectes en zones molt allunyades del seu focus emissor. Si bé el cas més estudiat és el de la pluja àcida, degut a la seva implicació en el d'àmplies zones forestals arreu del món (Reuss and Johnson, 1986, Abrahamsen, 1984, Lobersli et al, 1991), també s'han fet un elevat nombre

d'estudis en els darrers anys per quantificar els metalls pesants que es dipositen en els boscos i els efectes de la seva acumulació als diferents compartiment de l'ecosistema (Ross, 1996, Skrivan, 1995, Zöttl, 1985).

L'estudi de la deposició atmosfèrica a un nivell geogràfic àmpli permet establir patrons de deposició regional. Aquests patrons semblen ser resultat de la combinació de patrons regionals d'emissió i de moviments de grans masses d'aire junt a la influència d'emissions locals i de les irregularitat del terreny (Lovett, 1994, Ollinger, 1993). Els treballs que mantenen un seguiment de la deposició atmosfèrica durant períodes de temps llargs han permès detectar tendències d'augment o disminució d'aquesta deposició, sovint relacionades amb canvis en els processos industrials o de combustió (Àvila, 1996, Hedin et al, 1987, Lynch et al, 1995).

En boscos de zones mediterrànies s'han descrit limitacions en el seu creixement degut a la baixa disponibilitat d'aigua i de nutrients (Hellmers et al, 1955, Oechel et al, 1981, Kruger et al, 1983, Rodà et al, 1998b). Això implica que la quantitat de precipitació que efectivament arriba al sòl i la forma en que ho fa sigui clau per determinar la disponibilitat hídrica del sòl del bosc. Per tant, resulta rellevant quantificar acuradament el volum de pluja interceptada per la capçada. També, l'estimació acurada de la quantitat de nutrients que arriba en la deposició atmosfèrica resulta important per entendre la dinàmica dels cicles d'aquests nutrients a l'ecosistema. L'interés en la determinació de l'acidesa de la pluja degut als seus efecte, resulta poc rellevant en els boscos mediterranis, ja que les pluges de fang són relativament freqüents i tenen un efecte neutralitzador de l'acidesa de la precipitació (Chester et al, 1993, Camarero and Catalan, 1993, Rodà et al, 1993). També l'ample presència de sòls calcaris a Catalunya pot representar una font local de pols calcària que es pot dipositar a les capçades dels boscos (Bellot and Escarré, 1991, Rodà, 1983)

El grup de biogeoquímica del CREAF, en l'àmbit del qual s'ha fet aquest treball, té una prolongada experiència en l'estudi dels fluxos hidrològics i de nutrients a nivell de conca i dels seus efectes en la dinàmica de l'ecosistema forestal. Així, fa més de 15 anys que membres de l'equip (conjuntament amb membres del Departament d'Ecologia de la Universitat d'Alacant i del

Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona) treballen sobre aquestes qüestions en diferents alzinars a Prades i el Montseny (Àvila et al, 1996, Àvila et al, 1995, Àvila et al, 1992, Belillas and Rodà, 1993, Bellot and Escarrè, 1991, Piñol and Àvila, 1992, Rodà, 1983, Rodà et al, 1993, Rodà et al, 1998a). Les mesures de deposició atmosfèrica s'han realitzat sobretot dins del marc de la determinació de balanços de nutrients a nivell de conca. Els alzinars estudiats fins a l'actualitat han representat no obstant, ambients relativament protegits de les principals fonts de contaminació atmosfèrica local. Cal considerar que en altres zones del món s'ha establert que el patró de la química de la precipitació a nivell regional està en part controlat per la proximitat a centres de població humana i d'activitat industrial (Lovett, 1994, Liechty et al, 1993, Ollinger et al, 1993, Parker, 1983, Pregitzer et al, 1992, Taylor, 1994). Per tant, importants masses boscoses de Catalunya, sense estar prop de focus de contaminació concrets, podrien tenir la influència d'una contaminació regional provocada per focus extensos d'activitat industrial, urbana i viària. I en canvi, el que coneixem millor pels estudis a alzinars de Montseny i a Prades es trobaren en zones probablement menys afectades per aquesta contaminació de fons.

1.2 Objectius generals del treball

Els objectius del present treball són, per una banda aportar major informació sobre les entrades atmosfèriques d'aigua i nutrients als boscos d'alzina del Montseny dins de la trajectòria dels estudis fets fins al moment en aquesta zona. Però a més, hem invertit un considerable esforç en millorar el coneixement de les entrades d'elements potencialment tòxics, les emissions dels quals es troben relacionades amb activitats antropogèniques. La determinació d'aquestes entrades atmosfèriques s'ha volgut contextualitzar en dues situacions que presenten una influència contrastada de la contaminació. Aquesta comparació té l'objectiu final de valorar si la posició topogràfica d'una de les zones més exposada a la contaminació condiciona aquest aport i per tant, si en general, aquesta influència de les fonts emissores determina un augment de la deposició atmosfèrica en masses forestals a nivell regional més àmpli. Aquest fet ha determinat que s'hagi treballat a dos alzinars del Montseny que presentessin una posició topogràfica que permet suposar "a priori" una

exposició diferent a l'influència de la contaminació procedent de la zona industrial, urbana i viària del Vallès Oriental i Barcelonès.

1.3 Definicions i terminologia

A l'apartat final d'aquest capítol introductorí expliquem com hem estructurat el present treball per donar resposta a aquests objectius, però abans resulta adient fer alguns aclariments terminològics i metodològics.

La nomenclatura utilitzada al llarg de tot el treball per descriure els fluxos d'entrada de la pluja o de la deposició atmosfèrica a un bosc és l'utilitzada de forma generalitzada per la majoria d'autors. En canvi, els mètodes de mesura d'aquests fluxos hidrològics i sobretot de la deposició atmosfèrica és variada i la interpretació del que realment es mesura no resulta uniforme entre els diferents treballs publicats. Per això en els dos apartats següents, primer en el cas dels fluxos hidrològics i després per la deposició atmosfèrica: 1) definim aquests diferents fluxos per tal d'establir exactament el significat dels termes utilitzats, 2) resumim els principals mètodes de mesura i definim quina porció del volum de precipitació o de la deposició atmosfèrica mesuren i 3) expliquem quins criteris hem utilitzat per escollir un mètode i no un altre en el nostre treball.

1.3.1 Terminologia pels fluxos hidrològics

L'aigua que arriba al bosc en forma de pluja (anomenada sovint precipitació incident), degut a la seva interacció amb la capçada dels arbres queda dividida en tres parts (figura 1.1):

1) El trascol: és la part de l'aigua de la precipitació incident en el bosc que arriba al sòl del bosc després de travessar les capçades. Una part l'aigua del trascol prové de la pluja que arriba directament al sòl del bosc sense ser interceptada per cap element de la capçada (la proporció que representa aquesta aigua l'anomenen coeficient de pluja lliure (Rutter, 1975)) i la resta arriba per degoteig de l'aigua interceptada per la capçada.

2) L'escolament cortical: és la part de l'aigua de pluja que després de travessar les capçades arriba al sòl del bosc relliscant pel tronc.

3) Precipitació neta (o aigua total del bosc): és la suma de l'aigua de trascol i escolament cortical, és a dir el volum total d'aigua que arriba al sòl del bosc.

4) La intercepció: és la part de l'aigua de precipitació que s'acumula a la capçada i als troncs i es evaporada abans d'arribar al sòl.

La divisió de l'aigua en aquests tres fluxos s'ha contemplat des dels primers estudis d'hidrologia forestal (Molchanov, 1963, Ovington, 1954) si bé va ser a partir de la revisió de Parker (1983) quan aquests termes van generalitzar-se. La traducció catalana d'aquests termes emprada per nosaltres és l'establerta per Rodà (1983).

Els mètodes de mesura utilitzats per quantificar aquests fluxes són:

a) Mesura directa del volum de l'aigua de precipitació, de trascol i escolament cortical mitjançant col·lectors i obtenció de la intercepció per diferència entre aquests volums (figura 1.1). Aquest és probablement el mètode més exacte però requereix una certa complicació logística i resulta difícilment utilitzable a nivell regional.

b) Models que parametritzen els diferents fluxos a partir del volum de precipitació, i altres variables meteorològiques o de la pròpia vegetació. Aquest models s'han aplicat especialment per estimar la intercepció. Les mesures meteorològiques necessàries per aplicar aquest models s'han de prendre en temps curts i això dificulta la seva utilització en llocs concrets, a nivell de parcel·la, però permeten aproximacions regionals a partir de dades d'estacions meteorològiques. (Gash, 1979, O'Connell and Todini, 1996, Rutter and Morton, 1977).

En el nostre treball hem utilitzat mesures directes d'aquests fluxes mitjançant col·lectors de precipitació, trascol i escolament cortical i hem calculat la intercepció per diferència. Aquesta opció metodològica proporciona una estima acurada del volum d'aquests fluxos a escala espacial petita i resulta més econòmica i simple logística.

1.3 2 Terminologia pels fluxos de deposició atmosfèrica

La deposició atmosfèrica, entesa com el total de nutrients i contaminants que arriben a un ecosistema, ocorre a través de tres processos (la deposició humida, la deposició oculta i la deposició seca) (figura 1.2):

1) La deposició humida és la deposició de material contingut en la precipitació, que té un doble origen: a) les partícules i gasos incorporats en les gotes dels núvols que precipiten en forma de pluja o neu ("rainout"); i b) les partícules o gasos arrossegats de l'atmosfera per l'aigua (o la neu) durant la precipitació ("washout") (Wolaver and Lieth, 1972).

2) La deposició oculta, és el resultat del contacte entre les gòtules de les boires i les superfícies terrestres. Aquest contacte comporta dos mecanismes de deposició: a) la sedimentació gravitatòria de les gotes (de tamany aproximadament $>5\mu\text{m}$) b) la deposició turbulenta provocada pels moviments d'aire sobre la superfície de la vegetació que causen la impactació de l'aire carregat de gòtules sobre les capçades.

3) la deposició seca és la deposició directa de partícules i gasos atmosfèrics en la vegetació, sòls o superfícies d'aigua. Aquesta deposició es dona per: a) sedimentació gravitatòria, que afecta sobretot a les partícules més grans de l'espectre ($>5\ \mu\text{m}$ diàmetre), b) per difusió browniana que és un mecanisme efectiu pel qual les partícules més petites ($<0.2-1\mu\text{m}$) travessen la capa límit adjacent a les cobertes vegetals però no per partícules majors, c) les partícules entre $0.2-1$ i $2\ \mu\text{m}$ tendeixen a no dipositar-se per cap d'aquests dos mecanismes i tenen la capacitat de viatjar a llargues distàncies fins la seva possible deposició, sovint incorporades a l'aigua de la precipitació, però també unides a aerosols de tamany superior que propicien la seva deposició gravitatòria i d) per absorció de gasos per les superfícies vegetals o a través d'estomes o lenticel·les.

La interacció entre l'atmosfera i la superfície representada per la capçada d'un bosc implica en general una major deposició atmosfèrica sobre les masses forestals que sobre superfícies sense vegetació. La principal causa d'aquest augment és la turbulència que la capçada provoca en les masses d'aire que impacten sobre aquestes capçades. Aquesta turbulència implica l'impacte sobre

les fulles i branques de les partícules principalment de tamany petit però també pot afectar a algunes partícules més grans i també de les gòtules de la boira. La deposició a més es veu facilitat pel fet que les fulles de la capçada presenten una superfície superior a la del sòl i en diferents orientacions. L'absorció de gasos també es veu facilitada per aquest moviment turbulent. Per tant els boscos fan un efecte de filtre per la deposició atmosfèrica (Mayer and Ulrich, 1972, Parker, 1983, Lovett, 1994).

A continuació descriurem breument els principals mètodes utilitzats per mesurar la deposició atmosfèrica sobre boscos per tal d'emmarcar les tècniques utilitzades per nosaltres. Aquest mètodes han estat àmpliament descrits per Lovett (1994), treball en que basem bona part d'aquest recull. Aquestes tècniques es poden resumir de la següent manera:

1) Col·lectors de precipitació. Els col·lectors de deposició global, consisteixen una forma clàssica per mesurar la deposició atmosfèrica. Són embuts continuament oberts a l'atmosfera (Eaton et al, 1973, Parker, 1983, Rapp, 1969) i per tant incorporen la deposició humida però també part de la deposició seca gravitatòria i inclús elements del propi ecosistema (pol·lees, pols local...etc). Amb aquests col·lectors es sobreestima la deposició humida però es subestima la deposició atmosfèrica total ja que no incorporen la deposició seca de partícules petites ni l'absorció de gasos, figura 1.2 (Richter and Lindberg, 1988, Stedman et al, 1990). Els col·lectors de deposició humida s'obren només quan hi ha precipitació i romanen tancats la resta del temps i permeten una estima molt més acurada de la deposició humida (Feely et al, 1985).

2) Mètodes micrometeorològics. Aquest mètodes són utilitzats per mesurar la deposició seca sobre del bosc. Aquests mètodes es basen en mesures sobre de la capçada mitjançant torres o aeroplans. En general mesuren només transport vertical i assumeixen que la capçada es comporta com una superfície homogènea per eliminar la possibilitat de transport horitzontal. Aquesta limitació dificulta aplicar aquests mètodes en àrees amb pendents pronunciades, amb capçades molt irregulars o amb cobertures molt variades. Per altra banda impliquen una esforç logísitic i econòmic considerable (Hicks et al, 1991)

3) Mètodes d'inferència. Aquest mètodes aproximen el flux de deposició seca a partir del coneixement de la concentració d'aquests elements a l'atmosfera, de la distribució de tamany de les partícules i la parametrització de la taxa de transferència de l'atmosfera a la superfície usant la velocitat de deposició. Aquest mètode és força utilitzat ja que les concentracions atmosfèriques són relativament fàcils de mesurar i s'han desenvolupat diferents models per calcular les velocitats de deposició. Aquests models interpreten la deposició seca com un procés de difusió entre una font (aire de sobre la capçada) i diversos embornals (superfícies del sòl o capçades) i interpreten aquesta deposició anàlogament a un circuit elèctric, de manera que les partícules han de travessar una sèrie de resistències fins arribar a la fulla (Balducchi et al, 1987). Aquestes resistències es parametritzen semiempíricament mitjançant mesures biològiques i micrometeorològiques. Els diferents models divergeixen en com considerar les superfícies embornals, els més senzills assimilen tot el bosc a una sola superfície foliar, per exemple en el model de "big leaf" (Hicks et al, 1991, Wesely, 1989) i el grau de complicació augmenta segons es diferencien més superfícies embornals (Davidson and Wu, 1990, Balducchi 1988, Geiger, 1994, Ivens et al, 1990, Meyers et al, 1991, Meyers and Balducchi, 1988).

4) Anàlisi de superfícies. Aquests mètodes impliquen l'estimació de la deposició seca a partir de l'anàlisi de la superfície de deposició i no de l'aire que hi ha sobre de la superfície. Així s'han utilitzat tècniques de rentat de fulles i branques (Lindberg and Lovett 1985, Shanley 1989), d'anàlisi química de trascol i escolament cortical (Lovett and Lindberg, 1984, Mayer and Ulrich, 1972, Parker, 1983, Rapp, 1969, Rodà 1983, Stachurski, 1987) i així com l'estudi de balanços químics a nivell de conca per tal de deduir les entrades per deposició seca (Àvila, 1989, Hornung and Reynolds, 1995, Likens and Bomann, 1977, Rodà 1983). Aquests mètodes tenen l'avantatge de ser tecnològicament més simples en comparació amb els descrits al punt 2 i 3 i per llocs amb elevada heterogeneïtat topogràfica o de vegetació, aquesta és sovint l'única opció realista (Lovett, 1994).

Quan s'utilitza el contingut d'elements químics de l'aigua del trascol i de l'escolament cortical per valorar la deposició atmosfèrica, cal tenir en compte

que aquesta aigua conté els elements provinents de la deposició humida conjuntament amb el resultat de la interacció entre la precipitació i la capçada. Aquesta interacció implica tres processos:

a) El rentat de la deposició seca gravitatòria i de la impactació d'aerosols i gòtules de boira que queda acumulada a la superfícies de fulles, branques, tronc o organismes epífits. Aquest procés implica un augment del contingut de nutrients i contaminants presents al trascol i l'escolament cortical.

b) La lixiviació d'elements interns de la capçada, en especial de fulles, però també d'inflorescències o de diversos organismes epífits. Aquest procés implica un procés d'enriquiment important d'alguns elements al trascol i a l'escolament cortical. Cal remarcar que aquest enriquiment per lixiviació de l'aigua de pluja que arriba al sòl del bosc no representa una entrada a l'ecosistema sinó que forma part dels cicles interns de l'ecosistema.

c) L'absorció de determinats elements a la capçada, en general per les fulles però també per altres fraccions de la capçada o per diversos organismes epífits.

El càlcul del trascol net (els elements incorporats amb el trascol i l'escolament cortical menys els aportat per la deposició global o per la deposició humida) permet valorar la importància d'aquests processos de modificació de la química de la pluja a nivell de capçada, ja que aquest és el resultat del balanç entre l'enriquiment per lixiviació i pel rentat de la deposició seca i l'empobriment degut a l'absorció d'elements per la capçada (Parker, 1983). En el cas d'elements amb una lixiviació i una absorció petita és un mètode clau per estimar l'aport en forma de deposició seca. Si la lixiviació no és molt petita no es possible discriminar clarament la importància de la lixiviació d'elements interns o la de l'absorció a nivell de capçada (Parker, 1983, Joslin and Wolfe, 1992, Lindberg and Lovett, 1984)

5) Utilització de superfícies artificials. Diferents tipus de superfícies artificials han estat utilitzades en molt estudis com a col·lectors de deposició seca (Vandenberg and Knoerr, 1985, Lindberg and Lovett, 1985, Davidson and Wu, 1990). El gran avantatge d'aquestes tècniques és que elimina les interaccions amb la capçada comentades a l'apartat anterior i els resultats són

fàcilment comparables entre diferents tipus de bosc. La gran limitació que presenten però, és la dificultat d'extrapolar la deposició en aquestes superfícies a les superfícies vegetals.

En aquest treball hem mesurat la deposició atmosfèrica mitjançant l'anàlisi de la composició química de l'aigua de: la pluja (recollida en col·lectors de deposició global), del trascol i de l'escolament cortical (figura 1.2). De fet la major part dels resultats de la química de la deposició atmosfèrica es basen en aquest tipus de mesures (capítol 5 i 6). Es van escollir aquests mètodes per ser els logisticament i econòmicament més accessibles i a la vegada perquè permetien una bona aproximació a la deposició atmosfèrica global. Tanmateix, aquesta metodologia, com ja hem explicat anteriorment, presenta limitacions a la hora de discriminar l'origen dels aportos de certs elements. En conseqüència, es va utilitzar la tècnica del rentat de branques i de superfícies inerts per tal de determinar millor la influència dels diferents processos de capçada en la deposició atmosfèrica dels elements considerats i els resultats s'exposen al capítol 7. Finalment, al capítol 8 hem assajat la possibilitat de mesurar els aportos anuals de la deposició atmosfèrica, només per a certs metalls traça, mitjançant l'anàlisi de tal·lus de líquens. Cal destacar que aquest alzinars presenten un pendent pronunciat i una estructura de capçades molt poc uniforme, fet que desaconsella l'utilització de models micrometeorològics per estimar la deposició seca, a més de les dificultats logístiques i pressupuestàries que aquests models ens comportaven.

1.4 Estructuració de la tesis

El present treball es presenta en capítols que mantenen estructura d'article, amb l'única excepció d'aquests primer, del segon i del de conclusions generals :

En el segon capítol, **Material i mètodes**: hem resumit aquells mètodes i criteris metodològics que eren comuns a diferents capítols. Això creiem que permet una lectura més fluïda de la resta de capítols, així com una senzilla localització dels aspectes metodològics bàsics que el lector o lectora desitgi consultar.

En el tercer capítol: **Comportament hidrològic de la precipitació, el trascol i l'escolament cortical a dos alzinars del Montseny**, presentem la quantificació de les entrades dels fluxos hidrològics als dos alzinars objecte d'estudi, així com la variabilitat temporal i espacial del volum de trascol i escolament cortical.

En el quart capítol, titulat: **Determinació del tamany de mostra en l'estima del volum de trascol**, hem volgut, mitjançant una aproximació estadística, donar orientacions metodològiques per la mesura del volum de trascol en futurs estudis hidrològics en alzinars mediterranis.

En el cinquè capítol, **Deposició atmosfèrica dels elements químics majoritaris a dos alzinars del Montseny**, hem estudiat la química dels elements majoritaris de la pluja, el trascol i l'escolament cortical a dos alzinars del Montseny i la seva variabilitat temporal en els dos alzinars estudiats. Hem fet també una estima de les possibles fonts d'emissió d'aquests elements i de la influència dels processos de capçada en la química del trascol i l'escolament cortical. Tots aquests aspectes han estat tractats compartivament entre els dos alzinars per valorar la influència de la seva exposició a la contaminació del Vallès Oriental i Barcelonès.

El sisè capítol, **Deposició atmosfèrica d'elements traça a dos alzinars del Montseny**, té una estructura i objectius similars als del cinquè però s'ocupa de la deposició atmosfèrica dels elements traça. La separació dels elements traça dels elements majoritaris s'ha fet per dues raons: per què es tracta d'una deposició atmosfèrica d'ordres de magnitud diferents i per evitar una gran acumulació d'informació en un mateix capítol.

El setè capítol, **Estudi de la de deposició seca acumulada sobre les capçades i superfícies artificials a dos alzinars del Montseny**, descriu una aproximació metodològica diferent a la dels capítols anteriors. Es fonamenta en el rentat controlat de branques i superfícies artificials exposades a la deposició atmosfèrica coma a mètode per estudiar amb major detall, però a una escala temporal curta, la deposició seca dels diferents nutrients i contaminants, i permet fer inferències sobre la contribució de la lixiviació a la química del trascol. S'ha comparat també la influència que la posició

contrastada a la contaminació d'ambdós alzinars pot tenir en la deposició seca durant períodes de temps curts.

En el vuitè capítol, **Contingut de metalls traça a *Parmelia caperata* (L.) Ach. en relació als fluxos de deposició global, trascol i rentat de branques en dos alzinars del Montseny**, comparem el contingut de metalls pesants en els tal.lus del líquen *Parmelia caperata* amb la deposició atmosfèrica de metalls pesants obtinguda amb les mesures de deposició global i trascol presentades al capítol sisè i del rentat de branques del capítol setè. La mateixa aproximació s'aplica als dos alzinars sotmesos a diferent exposició a la contaminació i la comparació dels fluxos i continguts de metalls als líquens que en resulta ens permet valorar la possibilitat d'utilitzar líquens d'aquestes característiques per establir patrons regionals de deposició atmosfèrica.

En el novè capítol, **Conclusions generals**, fem un recull de les conclusions més rellevants suggerides per les discussions dels diferents capítols, amb especial èmfasi en els efectes que sobre la deposició atmosfèrica implica la diferent exposició a la contaminació de les dues zones d'estudi.

L'estructura en que presentem la tesis creiem que permet, tot i mantenir la unitat conceptual del treball, la lectura i comprensió de cada capítol com una unitat. A més facilitarà la progressiva publicació en revistes especialitzades de tot el treball, del qual el vuitè capítol ja està acceptat en una forma molt similar per la seva publicació (Rodrigo et al, 1998).

Capítol 2

Material i mètodes

2 Material i Mètodes

2.1 Àrea d'estudi

Per poder dur a terme els objectius d'aquest treball les àrees d'estudi han d'estar en una situació geogràfica que permeti una contrastada exposició a la influència de la contaminació, però a la vegada, cal que tinguin el màxim grau de similitud en aquells altres aspectes que poden afectar l'hidrologia i/o la química del trascol i de l'escolament cortical. És a dir, han de ser zones amb una certa homogeneïtat en aspectes com les variables meteorològiques i les característiques estructurals del bosc i una contrastada diferència pel que fa a l'exposició a la contaminació. Per tal d'assegurar aquesta doble condició, vam escollir dues localitats al massís del Montseny dins de la zona d'alzinar (*Asplenio onopteridis-Quercetum ilicis* (Br.-Bl. 1936) Rivas-Mart. 1975), l'una a l'estació biològica de La Castanya (que anomenarem LC) i l'altra a la part superior de la Riera de Sant Pere de Vilamajor (que anomenarem RP). Les principals característiques d'aquestes de les dues localitats es descriuen a continuació.

2.1.1. Estació de La Castanya (LC)

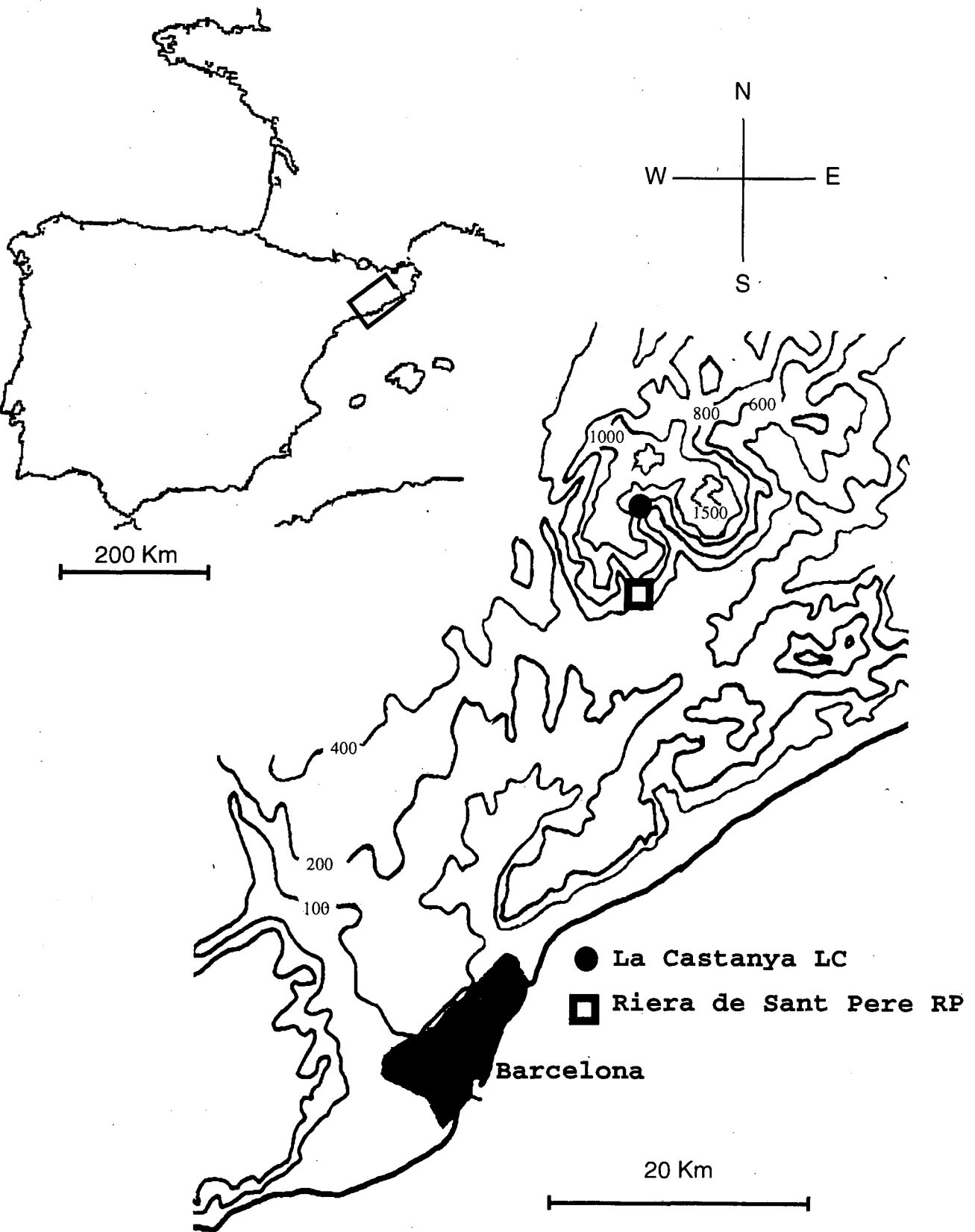
Aquesta estació es troba a la meitat baixa de la conca del Torrent de la Mina (41° 46' N, 2° 21' E) a 40 km en direcció N-NE de Barcelona i a 27 Km del Mar Mediterrani. L'estació es troba a la part central del massís del Montseny (NE Espanya), al terme municipal del Brull (figura 2.1). La seva situació topogràfica (a 700 m d'altitud i envoltada per elevacions de més de 1200 m excepte en direcció SE on es troba la vall de la Tordera) ens permet suposar una relativa protecció a la contaminació procedent de l'àrea urbana, viària i industrial del Vallès Oriental i Barcelonès. La zona d'estudi està coberta per un alzinar (*Quercus ilex*, L) que ha estat objecte de nombroses investigacions en les seves característiques estructurals i dinàmiques tant a nivell de parcel·la com a nivell de conca (Rodà et al, 1998). La roca mare és una fil·lita metamòrfica i el sòl és un dystric xerochrepts franc-arenós de poca fondària i molt pedregós. El clima és mesomediterrani subhumit amb una precipitació mitjana de 879 mm (pel període 1983-1994, amb un rang entre 627-1178 mm). Els vessants de la conca estan

orientats un al nord i l'altre a l'est i ambdós presenten un fort pendent (taula 2.1). Les parcel·les d'aquest treball es van situar al vessant nord de la conca.

2.1.2. Estació de Riera de Sant Pere de Vilamajor (RP)

Aquesta estació es troba a la part sud del massís del Montseny a prop de la capçalera de la Riera de Sant Pere de Vilamajor sota del turó de Sant Elies (41° 43' N, 2° 23' E), a 36 km en direcció N-NE de Barcelona i a 20 Km del Mar Mediterrani, en el terme municipal de Sant Pere de Vilamajor. La seva posició topogràfica, oberta a la Plana del Vallès Oriental, ens permet suposar una major influència de la contaminació de l'àrea del Barcelonès i del Vallès Oriental. La zona està coberta també per un bosc dens principalment d'alzina (*Quercus ilex*, L), amb presència dispersa de pi blanc (*Pinus halepensis*) i roure (*Quercus sp*). La roca mare és també formada per fil·lites ordovíciques. Les característiques principals dels sòls forestals del Montseny responen sobretot a la influència del tipus de vegetació i del material litològic sobre el que s'han desenvolupat (Hereter, 1990, com a conclusió d'un estudi de 17 sòls forestals del Montseny). Com el tipus de vegetació i el material litològic de LC i de RP són molt similars, es pot afirmar que el tipus de sòl serà també semblant. Aquesta zona es troba a un vessant amb orientació sud i un pendent més suau que a la zona de LC (taula 2.1). El clima és també mesomediterrani subhumit, però no disposem de cap mesura de precipitació prèvia a l'estudi d'exactament aquesta estació. Les estacions meteorològiques més properes són la de Sant Celoni a 120 m d'altitud (820 mm any⁻¹ pel període 1950-90), Santa Maria de Palautordera a 200 m d'altitud (810 mm any⁻¹ pel període 1942-1991), la mateixa Castanya (876 mm any⁻¹ pel període 1983-94) i Turó de l'Home a 1712 m d'altitud (1088 mm any⁻¹ pel període 1941-1991). Segons això i si acceptem que la precipitació al Montseny presenta un cert patró altitudinal, vam suposar "a priori" que a la zona de Riera de S. Pere (530 m d'altitud) la precipitació havia de ser similar a la de La Castanya (730 m d'altitud). En qualsevol cas, al capítol 3 hi ha les dades de precipitació de RP i de LC durant el període d'estudi.

Figura 2.1. Localització del àrea de La Castanya (LC) i de Riera de Sant Pere (RP)



Taula 2.1. Algunes característiques de les parcel·les de la zona de LC i de RP.

	Altitud m	Orientació	Pendent graus	Densitat peus ha ⁻¹	Àrea basal m ² ha ⁻¹	Diàmetre normal* cm	Àrea de capçada* m ²	Alçada * m	Gruix de capçada* m
LC	731	N	37.5	2127	26.5	11,3±4,8	6,20±5,38	5,99±1,79	3,14±1,51
RP	535	S	20.5	1753	22.3	12,0±4,2	5,56±3,83	6,42±1,93	3,95±1,68

*Mitjanes ±D.E. utilitzant tots els peus de les 4 parcel·les, n=126 per LC i n=104 per RP.

2.1.3 Estructura dels dos alzinars

A ambdues zones es van delimitar 4 parcel·les circulars de 7 m de radi per situar els col·lectors de trascol i escolament cortical. Prèviament a la instal·lació es van determinar algunes característiques de les parcel·les (taula 2.1).

A LC tots els arbres de dins de les parcel·les eren d'alzina (*Quercus ilex*, L) i a RP ho eren tots excepte un roure (*Quercus cerrioides* Willk. et Costa) a la parcel·la 3. En tots els peus de cada parcel·la (entenen com peus aquells troncs que es troben individualitzats a 50 cm del sòl i que a 1.30 d'alçada fan més de 5 cm) es van prendre una sèrie de mesures estructurals:

1) el diàmetre normal.

2) l'àrea de projecció de la capçada, que es calculava mesurant dos diàmetres perpendiculars (un direcció N-S i l'altre E-O) i assimilant-la a la superfície d'una elipse.

3) l'alçada total del peu, que es calculava mitjançant l'angle format per la visual des d'un punt de referència fixe amb el punt més alt de l'arbre, la seva base i un punt a una alçada coneguda (Korning and Karsten, 1994).

4) el gruix de capçada, que es va definir com l'alçada compresa entre la branca on comença la capçada i el punt més alt de l'arbre.

A la taula 2.1. donem la mitjana per cada zona del diàmetre normal, l'alçada, el gruix de capçada i l'àrea de projecció de la capçada, junt amb la densitat de peus, l'àrea basal, el pendent i l'orientació per cada una de les dues zones.

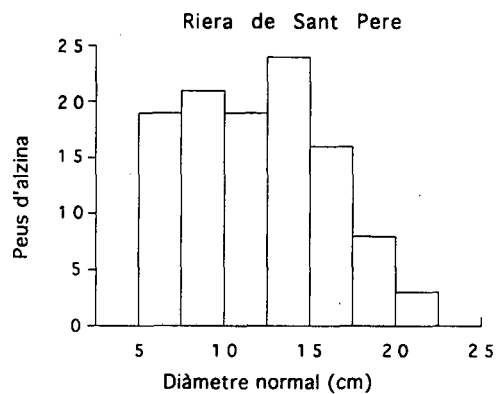
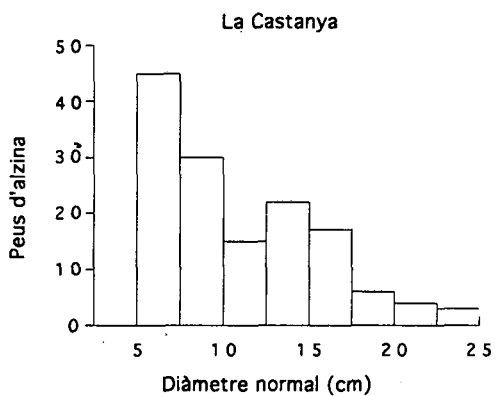


Figura 2.2 Distribució en classes diàmètriques (en cm) dels arbres de les 4 parcel·les de les dues zones.

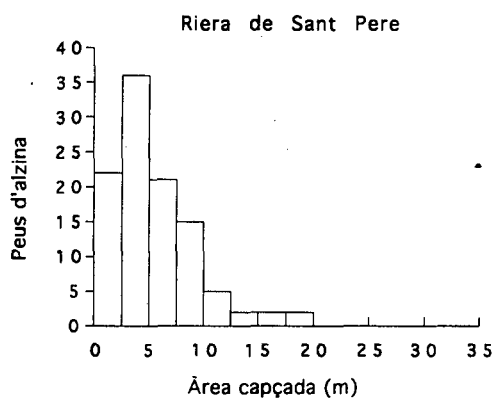
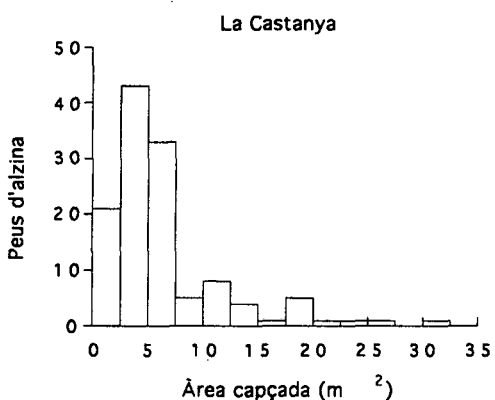


Figura 2.3 Distribució en classes de tamany de la projecció de capçada (en m²) dels arbres de les 4 parcel·les de les dues zones.

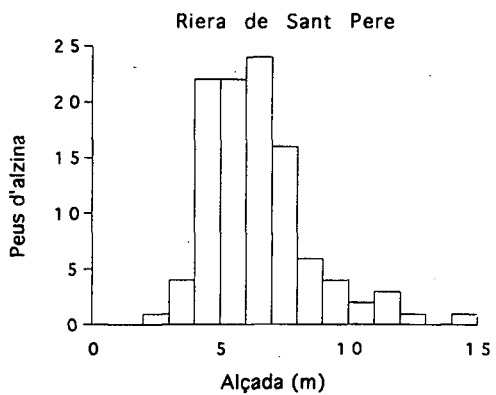
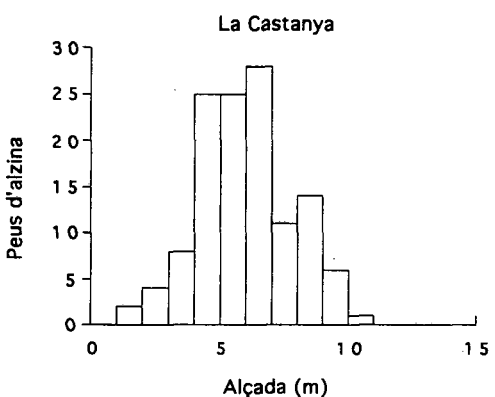


Figura 2.4. Distribució en classes de tamany de l'alçada (en m) dels peus de les 4 parcel·les de LC i RP.

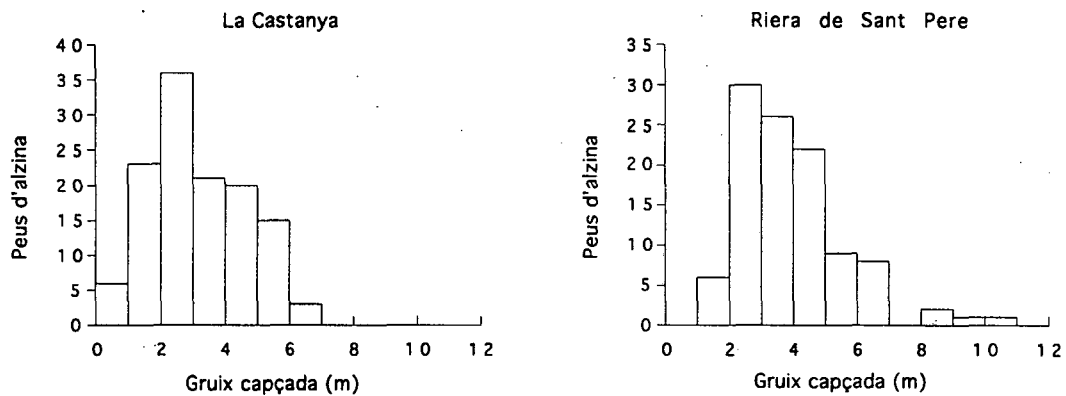


Figura 2.5 Distribució en classes de tamany de gruixos de capçada (en m) dels arbres de les 4 parcel·les de LC i RP.

S'observa que la distribució de classes d'aquestes variables és similar en les dues zones (figures de 2.2 a 2.5). Les principals diferències són que a LC hi ha major nombre de peus petits que a RP, en especial si ens fixem en el diàmetre normal i en menor mesura en l'àrea de capçada (figura 2.2. i 2.3). Però aquestes dues mateixes figures mostren que els valors més alts es donen a LC i no a RP. Així l'histograma de RP (figura 2.2 i 2.3), no té una distribució tant asimètrica, de manera que el nombre de peus és similar a les classes petites i intermitges i disminueixi només a les classes de tamany superior. L'histograma d'alçades és molt similar, si bé a RP hi ha arbres més alts que a LC. L'histograma del gruix de capçada tot i ser similar, mostra forces peus amb un gruix superior a RP.

Vam testar les diferències en aquestes quatre variables entre les dues zones mitjançant un anàlisi de la variança prenent la zona com a factor i la parcel·la com a factor aniuat. Pel diàmetre normal i l'àrea de la capçada les dades es van transformar com $x' = \log(x)$. Únicament el gruix de capçada va presentar diferències significatives entre ambdues zones. Les diferències entre parcel·les van resultar significatives per l'àrea de projecció i gruix de capçada i per l'alçada dels arbres.

Les dades presentades en aquest apartat ens permeten afirmar que les parcel·les de les dues estacions tenen una estructura forestal força similar. Tot i això hi ha certs aspectes que les diferencien: 1) l'alzinar de LC té una àrea basal i una densitat de peus majors que el de RP. 2) a LC la distribució de classes de

diàmetre normal i àrea capçada és més ampla que a RP. 3) El fet que els peus més alts estiguin a RP, però sobretot que presentin gruixos de capçada significativament majors, amb projeccions de capçada similars implica que les capçades de RP tinguin una distribució de les fulles més vertical que a LC i 4) LC presenta una orientació Nord i RP una orientació Sud.

2.2. Dispositiu experimental

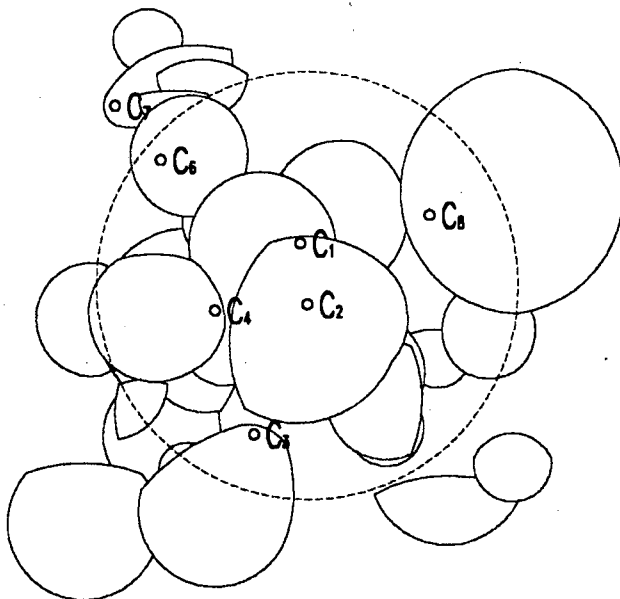
A continuació es descriuen el tipus de col·lectors utilitzats per mostrejar la deposició global, el trascol, l'escolament cortical i les variables meteorològiques i els criteris considerats per la seva ubicació. L'explicació es refereix tant a La Castanya com a Riera de Sant Pere ja que la instal·lació és la mateixa excepte en alguns aspectes menors que es comenten quan s'escau.

2.2.1. Ubicació i mostreig dels col·lectors de la deposició global

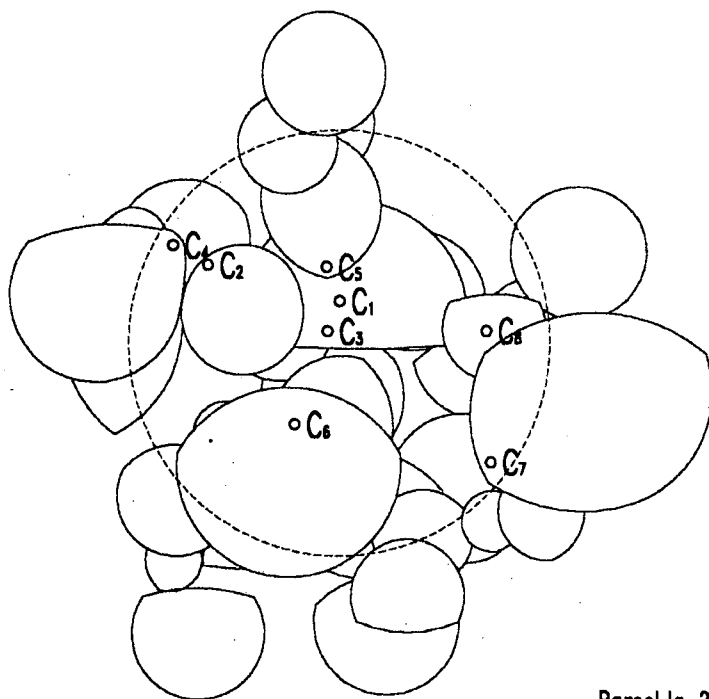
Els col·lectors de deposició global, en nombre de 4, es van instal·lar en una clariana oberta al bosc a uns 50 metres de les parcel·les establertes per mesurar el trascol (apartat 2.1.3). Els col·lectors es situaren de manera que no hi hagués cap obstacle en un angle superior a 30° respecte l'horitzontal de la boca dels embuts. Els col·lectors de deposició global, basats en el model proposat per Eaton et al (1973) consisteixen en un embut de PEHD (polietilè d'alta densitat) de 19 cm de diàmetre unit a un tub de Tygon que forma un bucle connectat a un bidó de PELD (polietilè de baixa densitat) de 10 L de capacitat. Al coll de l'embut es col·loca una xarxa de plàstic per impedir l'entrada d'insectes o altres elements estranys que poden contaminar la mostra. (aquesta capacitat del bidó (10 L) permet recollir pluges de fins 350 mm). Els bidons es mantenen sempre en la foscor per reduir l'evaporació i evitar la proliferació d'algues.

Setmanalment es recollia la mostra en cas de que hagués plogut i es substituïen els embuts, tubs i bidons per uns netejats prèviament al laboratori. Abans de retirar els embuts, es rentava amb aigua destil·lada la seva superfície i es recollia l'aigua del rentat en una ampolla de PELD de 500 ml. Aquesta aigua de rentat recull la deposició seca gravitatòria que s'ha dipositat des de l'última pluja, o durant tota la setmana en cas que no hagi plogut.

LA CASTANYA



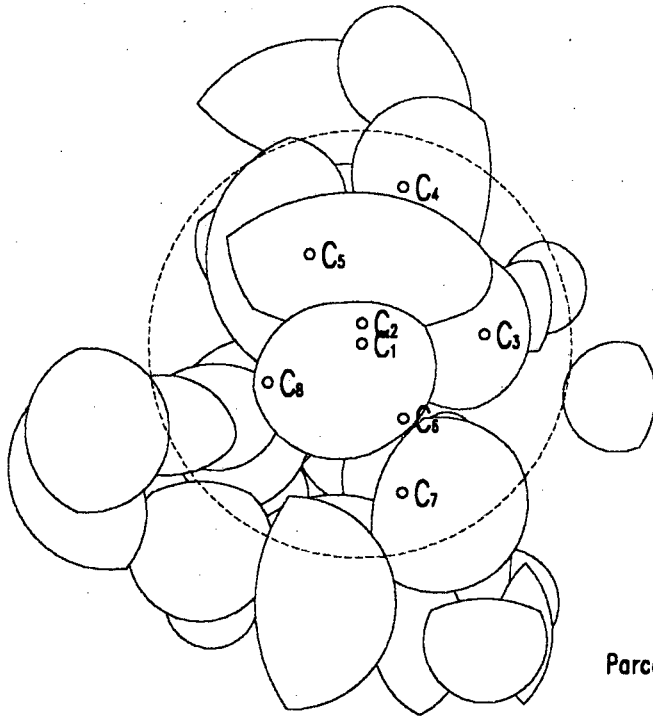
Parcel·la 1



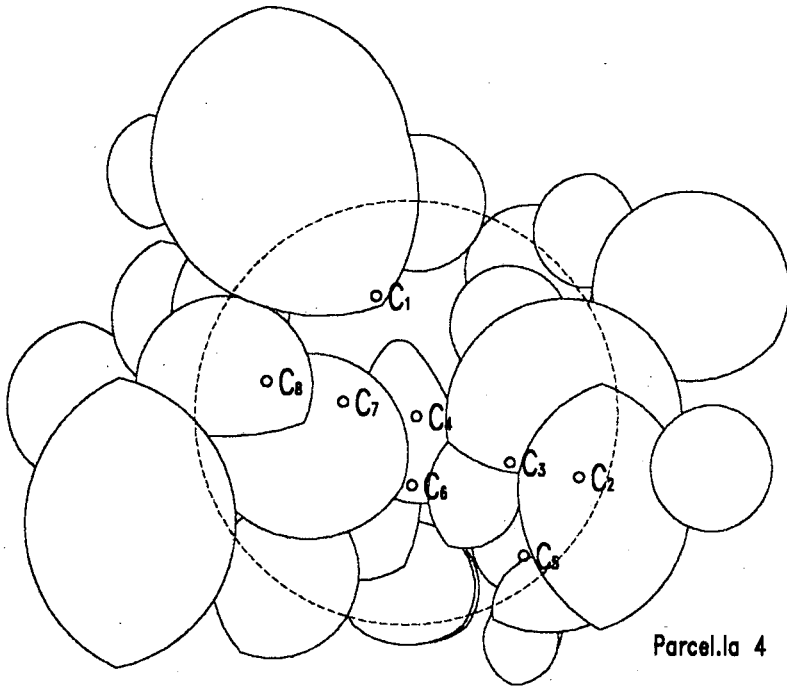
Parcel·la 2

0cm. 200cm.

LA CASTANYA



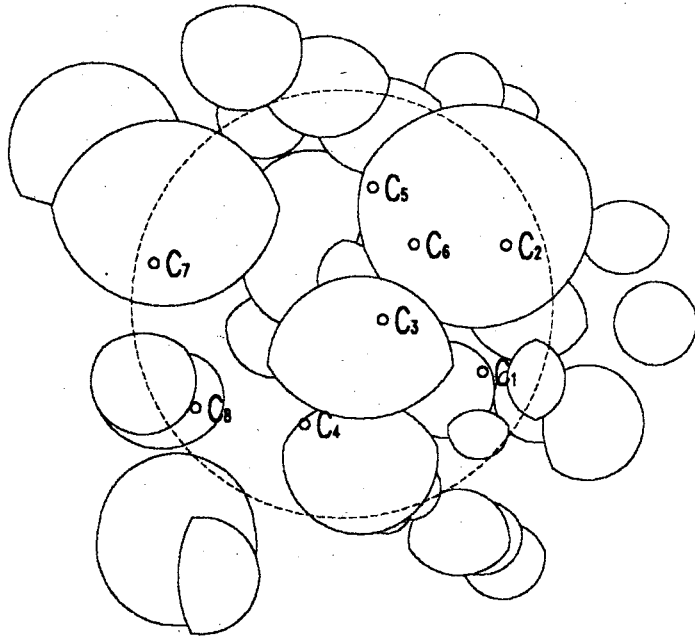
Parcel.la 3



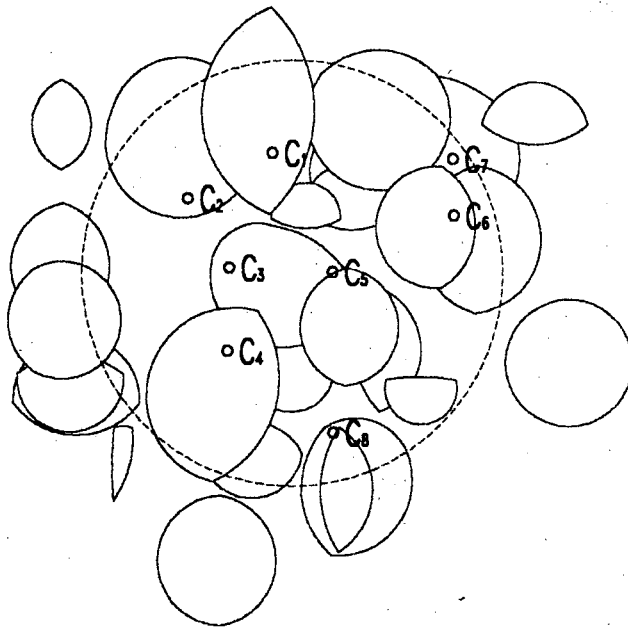
Parcel.la 4

0cm. 200cm.

RIERA DE SANT PERE



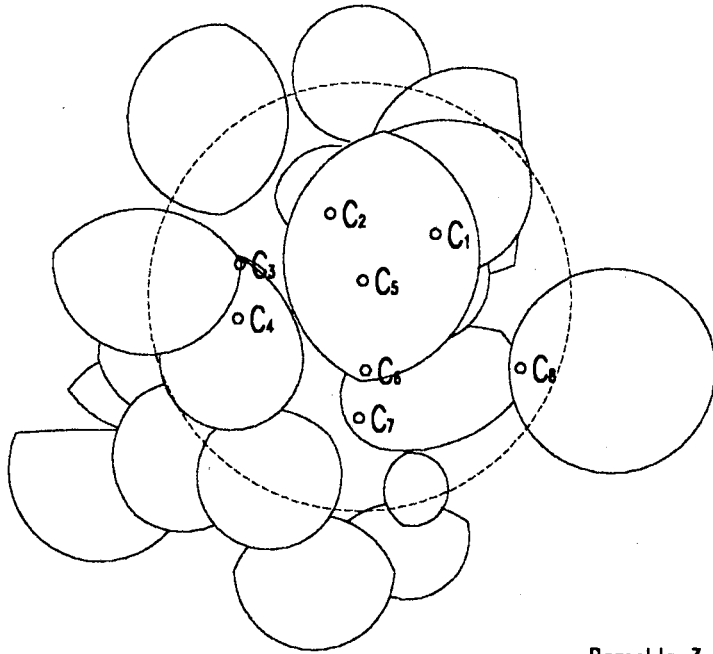
Parcel.la 1



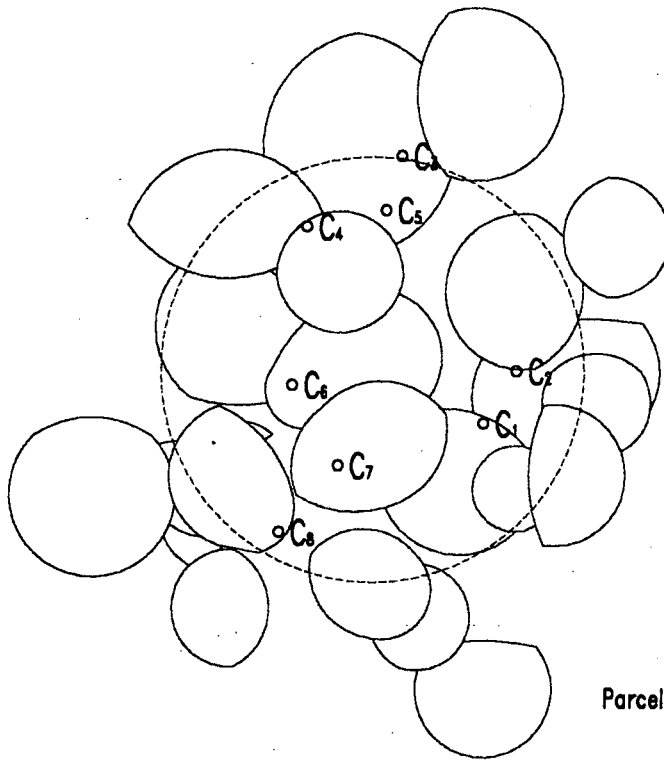
Parcel.la 2

0cm. 200cm.

RIERA DE SANT PERE



Parcel·la 3



Parcel·la 4

0cm. 200cm.

2.2.2. Ubicació i mostreig dels col·lectors del trascol

S'instal·laren 8 col·lectors de trascol a cada una de les 4 parcel·les de 7 m de radi, de manera que s'han instal·lat un total de 32 col·lectors per zona. Aquest nombre de col·lectors permet obtenir estimes de la mitjana del volum de trascol amb intervals de confiança força alts, però, en el cas de la química, i especialment quan el volum és molt baix, els nivells de significació són menors (Czarnowsky and Olszewski, 1970, Kimmins, 1973, Kostelnik et al, 1989, Peterson and Rolfe, 1979) encara que suficients per detectar diferències entre zones o tendències temporals (Forti and Neal, 1992, Puckett, 1990b, Lawrence and Fernández, 1993).

A cada una de les 4 parcel·les de les dues zones descrites a l'apartat 2.1.3, vam delimitar una subparcel·la circular i concèntrica de 5 m de radi per tal de situar els 8 col·lectors per parcel·la. Es van ubicar els col·lectors a l'atzar, sempre que a 2 m d'alçada no hi hagués cap branca que pogués interceptar l'aigua, en cas contrari es tornava a triar un lloc a l'atzar que complís aquesta condició. Es va triar aquesta alçada (2 m) com l'alçada límit de l'estrat arbusti basant-nos en l'observació feta al camp: sota d'aquesta alçada l'estructura d'ambdós boscos diferia visiblement. A les figures 2.6 i 2.7 es mostren els mapes de les parcel·les amb els peus d'alzina, la projecció de la seva capçada assimilada a una elipse i la ubicació de tots els col·lectors de trascol.

Els col·lectors utilitzats per recollir l'aigua de trascol consisteixen en un tub de suport de PVC d'aproximadament 1 m d'alçada lligat amb una brida metàl·lica a una estaca de fusta clavada al terra que manté tot el conjunt perpendicular al sòl. A la part superior del tub es situa una ampolla de PELD d'1 L de capacitat. Amb aquest volum de recipient es pot recollir el trascol de pluges fins a 100 mm aproximadament. A la part superior del tub de suports s'hi fa encaixar un tros de tub de PVC que suporta un embut de PEHD de 9 cm de diàmetre. Quan tot queda encaixat, el coll de l'embut coincideix amb l'orifici de l'ampolla i la boca de l'embut es situa horitzontal al sòl i a 1.20 m d'alçada. Aquest sistema permet mantenir l'ampolla a les fosques per evitar el creixement d'algues i microorganismes, i al mateix temps permet una manipulació fàcil i ràpida de les mostres. Al coll de l'embut es situa una petita xarxa de nylò per impedir l'entrada d'elements estranys que poguessin contaminar la mostra.

Setmanalment hem recollit la mostra i hem substituït l'ampolla per una rentada prèviament al laboratori. L' embut el netejavem amb aigua destil·lada i la xarxa protectora era substituïda per una neta.

2.2.2.1 Determinació del coeficient de pluja lliure

El coeficient de pluja lliure (Rutter et al, 1971) el definim aquí com l'espai de capçada per sobre de cada col·lector de trascol que no queda cobert per cap branca o fulla, és a dir, l'espai per on pot passar l'aigua de pluja sense ser interceptada. Per valorar aquest coeficient es va fotografiar la capçada per sobre del col·lector, col·locant l'objectiu de la càmera al centre del col·lector i perpendicular a l'horitzontal de l'embut. Es feia la foto en blanc i negre, de manera que la part blanca de la foto (per on passava la llum) es considerava representativa de l'espai obert a la capçada, per on la precipitació no troba cap obstacle. Amb un programa de tractament d'imatges es va valorar la superfície no coberta de 5 cercles concèntrics centrats al mig de la fotografia, que simulaven superfícies de capçada de diàmetre creixent. Per tant, per cada col·lector s'obtenien 5 valors de l'àrea no tapada que s'expressaven com percentatge sobre el total. Aquests percentatges es poden assimilar al coeficient de pluja lliure a diferents escales. Els valors d'aquests 5 coeficients de pluja lliure per cada col·lector es troben als apèndix 2.1.

2.2.3 Col·lectors de l'escolament cortical: ubicació i mostreig

A la parcel·la no. 3 de les dues zones d'estudi es van situar 10 col·lectors d'escolament cortical. Pensant que existeix una relació entre el tamany de l'arbre i el volum d'escolament cortical (Bellot, 1988), vam escollir 10 arbres que fossin representatius de l'estructura de tamany dels arbres de les 4 parcel·les de cada zona. En el nostre estudi es va considerar l'àrea de la secció del tronc a 1.30 m (superfície normal) com a indicador del tamany, ja que pel seu caràcter bidimensional es pot relacionar millor amb variables de capçada (com l'índex d'àrea foliar o l'àrea de capçada) que poden influir el comportament de l'escolament cortical. Així, es van classificar els arbres de les 4 parcel·les segons la seva superfície a 1.30 m en 5 grups i es va calcular l'àrea basal que representava cada grup. S'assignava a cada classe el mateix número de

col.lectors que la proporció de l'àrea basal de la corresponent classe representava sobre l'àrea basal total (en tants per 10). Els arbres escollits eren els que tenien la superfície normal més propera a la marca de classe. En alguns casos la proporció de dues classes contigües no era un nombre sencer, en aquests casos s'escollia l'arbre el valor del qual es trobés més proper al límit de l'interval entre les dues classes.

Els col.lectors d'escolament cortical consisteixen en un tub en espiral adherit al tronc que desemboca en un dipòsit col.lector. Els tubs són de plàstic de 3 cm de llum, amb una ànima metàlica en espiral al seu voltant que permet obrir-lo longitudinalment mantenint una forma d'u. Cada tub s'uneix al tronc de manera que el centre de l'espiral es trobi a 1.30 del sòl. La unió entre el tub i el tronc es va sellegar amb silicona inert procurant reomplir bé tots els forats de l'escorça. Periòdicament es comprovava que no hi haguessin pèrdues d'aigua per la junta entre el tub i el tronc i es tornava a segellar quan feia falta. Durant la pluja, l'aigua que baixa relliscant pel tronc entra dins del tub i circula per l'espiral cap als bidons recol.lectors.

La relació trobada per Bellot (1985) permet estimar la quantitat de litres d'escolament cortical en funció del diàmetre de peus d'alzina i la quantitat de pluja de cada precipitació, Basant-nos en aquest resultat, modificat després per les mesures preeliminars, es van posar a cada arbre bidons de diferents capacitats, o diversos bidons es sèrie, considerant una pluja màxima de 200 mm. Els bidons es van enfosquir per evitar la proliferació d'algues.

Es recollia la mostra setmanalment. Els bidons de volum de 10 L, es canviaven per bidons nets i transportavem la mostra dins del bidó al laboratori. Quan utilitzavem bidons de més capacitat, mesuràvem el volum de mostra al camp per gravimetria. Un cop pesats els bidons, s'homogenitzava la mostra per agitació i s'agafava una alíquota d'un litre. Abans de tornar a connectar els tubs als col.lectors es rentava tot el sistema amb aigua destil.lada

2.2.4. Ubicació de les estacions meteorològiques

A la clariana dels col.lectors de la deposició global es va instal.lar un pluviometre totalitzador a cada zona. A LC disposavem també d'una torre meteorològica i a RP únicament d'un pluviògraf de registre continu. Els

pluviòmetres i pluviògrafs es van instal·lar de manera que no hi hagués cap obstacle en un angle superior a 30° respecte l'horitzontal de la boca per on entra la pluja. El pluviògraf de LC pren mesures de volum acumulat cada 10 min i el de RP cada 5 min.

A LC, l'estació meteorològica proporciona, a més del volum de precipitació, mesures de temperatura i humitat relativa cada 10 min i mitjanes horàries de velocitat i direcció del vent i radiació incident.

2.2.5. Inici del mostreig

Taula 2.2. Dates d'inici i finalització dels diferents mostreigs de la precipitació (P), de la deposició global (DG), del trascol (T) i de l'escolament cortical (EC). El número de setmanes i de dies és des de la data d'inici fins al final del període, que per tots els casos és el 25/6/96.

Data	Setmanes*	Dies	La Castanya	Riera de Sant Pere
3/11/94	LC= 66	600	Inici del mostreig: de la DG i de la P Instal·lació i inici del mostreig de TR Instal·lació de l'EC	
23/1/95	LC= 57 RP=56	519	Instal·lació de l'EC	Inici del mostreig: de la DG i de la P Instal·lació i inici del mostreig de TR Instal·lació de l'EC
6/6/95	LC= 49 RP=47	385	Inici del mostreig de l'EC	Inici del mostreig de l'EC
13/11/95	RP=28	225		Inici mostreig pluviògraf de registre continu
15/1/96	LC =21	162	Inici dades de l'estació metereològica	
25/6/96			Finalització de l'estudi	Finalització de l'estudi

El número de setmanes es refereix al número de setmanes durant les quals es va enregistrar precipitació.

La instal·lació i posada en marxa de les diferents parts del dispositiu experimental no va poder ser simultània degut a diversos problemes logístics i metodològics. En alguns casos entre la instal·lació i el començament del mostreig van passar algunes setmanes ja que les mostres obtingudes no resultaven prou fiables. Per evitar la confusió que això pot provocar en la interpretació de les mesures, a la taula 2.2. s'indiquen els períodes de mostreig de les diferents variables.

2.2.6 Interval de temps entre mostrejos

El mostreig del pluviòmetre, dels col·lectors de deposició global, dels col·lectors de trascol i dels d'escolament cortical s'ha fet setmanalment a les dues zones. El mostreig es feia sempre el mateix dia a les dues zones. Des del començament del mostreig d'una zona al començament del mostreig de l'altra passaven entre 3 i 4 hores. L'interval d'una setmana entre mostreig i mostreig es va escollir en base a 3 arguments principals: 1) una setmana és temps suficient per poder recollir i fer tot el tractament de mostres al laboratori, i preparar el material pel següent mostreig. 2) Basant-nos en les dades de precipitació que disposem a La Castanya, les pluges setmanals superiors a 100 mm (que podrien fer sobreixir els col·lectors de trascol són molt escases 3) Una setmana és un període de temps prou curt com per què no hi hagi canvis rellevants en les concentracions dels diferents elements dissolts a les mostres (Liechty and Mroz, 1991).

Quan ens referim al temps ocorregut entre dos mostrejos l'anomenarem setmana, si bé no sempre coincideix exactament amb set dies. Les dades doncs de cada mostreig es refereix al que s'ha recollit durant una setmana que, molt probablement, ha tingut més d'una precipitació.

2.3. Anàlisis de les mostres

2.3.1. Tècniques analítiques i protocol d'anàlisi

El protocol d'anàlisi de les mostres, així com les tècniques emprades, els límits de detecció de les mateixes i la conservació de les mostres es troben detallats a la taula 2.3. El volum, alcalinitat, pH i conductivitat es mesuren immediatament en arribar al laboratori, sense que en cap cas s'allargui més de 48 hores el temps per analitzar-les. Durant aquest procés les mostres es guarden en la cambra freda. Les mostres, un cop fets aquest primers anàlisi, es divideixen en dues ampolles de 50 ml: una alíquota s'utilitza per l'anàlisi dels anions i l'amoni i l'altra per l'anàlisi dels cations i metalls pesants. Els límits de detecció indicats a la taula 2.3. són la meitat del mínim valor detectat per la tècnica analítica.

Taula 2.3. Es detalla per cada variable: la tècnica analítica emprada amb el seus límits de detecció, el moment en que es feien les anàlisi, la manera que es conservaven les mostres fins el moment de l'anàlisi i finalment algunes observacions rellevants

Variable mesurada	Tècnica i aparell	Límit de detecció	Execució de les anàlisis	Conservació de les mostres	Observacions
Volum (gr)	Per gravimetria	1 mgr			
Conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)	Electromètrica Conductivímetre	0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$			Calibració diària
pH	electromètrica pHímetre Orion 940		En les 48 hores des del mostreig.	A 4°C a la foscor en cambra freda	Calibració diària
Alcalinitat en $\mu\text{eq}/\text{L}$	Titulació de Gran Alcalinòmetre Orion 960	0.5 $\mu\text{eq}/\text{l}$			
Filtratge al buit de les mostres amb filtre Milipore de 0.45 μm .					

Continua a la següent pàgina

Variable mesurada	Tècnica i aparell	Límit de detecció	Execució de les anàlisis	Conservació de les mostres	Observacions
Cl ⁻ i NO ₃ ⁻ (µeq/L)		1 µeq/L			
SO ₄ ²⁻ i PO ₄ ³⁻ (µeq/L)	Cromatografia líquida	2 µeq/L		-20 °C a la foscor	Grup de 5 patrons cada 20 mostres
F ⁻ (µeq/L)		2.5 µeq/L			Una mostra control cada 15 mostres
NH ₄ ⁺ (µeq/L)	Colorimetria (FIA)	5 µeq/L	Finalitzat tot el mostreig		
K ⁺ , Na ⁺ i Ca ²⁺ (ppm)		0.05 ppm			
Mg ²⁺ (ppm)	Espectroscopia de masses	0.002 ppm		Acidificació al 0.3% amb HCL i a -20 °C	Un control cada 9 mostres
Zn, Cr	per Inducció acoplada de Plasma (ICP-MS)	2 ppb			
Ni		1 ppb			Utilització d'un control intern
V		0.5 ppb		a la foscor	de Rodi per detectar i corregir desviacions de la línia base
Cu, Pb		0.4 ppb			
Mn, Co, Hg i Cd		0.1 ppb			

En totes les sèries d'anàlisis realitzades, les mostres es van agrupar segons la seva conductivitat. A cada sèrie s'inclouïen intercaladament mostres provinents del diferents fluxos i d'ambdues zones, de manera que la possible deriva en el mètode analític d'un dia concret no afectés només a un tipus de mostra i pogués condicionar la interpretació dels resultats. Per realitzar les tandes d'anàlisi d'amoni, anions, cations i metalls pesants es treien les mostres del congelador dos dies abans i es posaven a la cambra freda a 4°C i a la foscor. Després es temperaven en l'ambient del laboratori progressivament segons es feien les anàlisis.

Les anàlisis de conductivitat, pH, alcalinitat, anions i amoni, així com el filtratge de les mostres i la seva conservació els vam dur a terme als laboratoris del CREAM (centre de Recerca Ecològica i Aplicacions forestals) i de la Unitat d'Ecologia del Departament de Biologia Animal Biologia Vegetal i Ecologia de la UAB. Les anàlisis de cations bàsics i metalls pesants mitjançant Espectroscopia de Masses per Inducció Acoplada de Plasma (ICP-MS) es van dur a terme als Serveis Científico-Tècnics de la Universitat de Barcelona.

2.3.2. Neteja del material

Degut a la baixa concentració de les mostres d'aigua manipulades, el rentat de les diferents parts dels col·lectors i dels contenidors resulta cabdal per evitar problemes de contaminació. Tot el material utilitzat en el mostreig del trascol i de la deposició global (ampolles, bidons, tubs i embuts) es substituïa per material net cada setmana, independentment de si hi havia hagut precipitació. Un cop al laboratori es rentava tot el material de camp amb un escobilló de plàstic i amb aigua destil·lada d'alta qualitat (conductivitat aproximada: 1µS/cm a 25°C). Després s'esbandia 5 cops amb aigua destil·lada i es mesurava la conductivitat de l'aigua de la última esbandida. Si la conductivitat superava els 1.2 µS/cm a 25°C, es tornava a rentar fins que no passés aquest límit. Finalment es deixava assecar el material, i es guardava en bosses netes i fosques. Les xarxes de nylò utilitzades als embuts eren noves cada mostreig i es rentaven al laboratori abans de ser utilitzades (fins que l'aigua de rentat no superava els 1.2 µS/cm a 25°C).

Per de l'escolament cortical el rentat dels tubs, col.lectors i bidons es feia al camp amb un escobilló de plàstic i a continuació s'esbandia amb aigua destil.lada abundant (veure apartat 2.2.3).

2.3.3 Qualitat analítica

Per valorar la qualitat dels resultat analítics fem servir dos índexs, cat/an i cc/cm:

1) cat/an és el quocient entre la suma de cations i anions. Si acceptem que analitzem pràcticament la totalitat dels cations i anions presents a les diferents mostres, aquest quocient entre la suma de cations i la suma d'anions (ambdós en $\mu\text{eq L}^{-1}$) ha de ser igual a 1, ja que en qualsevol dissolució ha d'haver el mateix nombre d'equivalents de cations que d'anions.

2) cc/cm és el quocient entre la conductivitat calculada i la conductivitat mesurada (ambdues mesures en $\mu\text{S/cm}$). La conductivitat calculada és el sumatori de la conductivitat específica de cada ió a condicions de 20°C multiplicat per la concentració del ió. Valors propers a 1 impliquen un bons resultats analítics. Com la conductivitat específica del H^+ és molt major que la de la resta, aquest quocient és molt sensible a errors en la mesura del pH.

En els capítols que s'escaigui es mostrarà els valors d'aquests dos quocients com a mostra de la qualitat dels resultats de les anàlisis químiques.

2.3.4 Agrupament de les mostres

El nombre de mostres recollides cada setmana en que hi havia suficient pluja era molt gran, considerant les dues zones: 8 mostres de deposició global, 2 de rentat d'embuts, 64 de trascol i 20 d'escolament cortical. Això impossibilitava, per problemes logístics, fer totes les anàlisis de cada mostra per separat. Per això es van obtenir mostres compostes segons el tipus d'anàlisi (taula 2.4). Aquesta mostra combinada es feia proporcional a l'aigua recollida, de manera que la concentració mesurada en la mostra composta correspondria a la mitjana ponderada a partir de cada un dels col.lectors (veure apartat 2.4.2). Pel trascol, quan no hi havia prou aigua per mantenir una mostra per separat de les diferents parcel.les s'ajuntava en una única mostra les 4 parcel.les.

Taula 2.4 Resum esquemàtic de com s'ajuntaven les mostres depenent de les anàlisis a realitzar i de la quantitat de mostra disponible.

	Volum	Conductivitat	pH, alcalinitat, anions ^a , cations ^b i metalls pesants ^c
Deposició global	Una mostra per cada un dels 4 col. (capítol 2, 4 i 5)		Per pluges >50 mm, cada un dels 4 col.lectors Per pluges <50 i >10 mm, 2 mostres compostades amb l'aigua de 2 col.lectors. Per pluges <10 mm, 1 mostra compostada amb l'aigua dels 4 col.lectors Capítol 4 i 5.
Rentat d'embuts		Una mostra provinent del rentat del 4 col.lectors de deposició global	Capítol 4 i 5.
Trascol	Una mostra per cada un dels 32 col.lectors (capítol 2, 3, 4 i 5)		A partir de les mostres dels 8 col.lectors d'una parcel.la s'obté una mostra compostada de manera que l'aigua aportada per cada col.lector és proporcional a l'aigua recollida per aquest col.lector sobre el total dels 8 d'aquella parcel.la. Obtenim doncs 4 mostres, 1 per parcel.la (capítol 4 i 5)
Escolament cortical	Una mostra per cada un del 10 col.lectors (capítol 2, 4 i 5)	A partir dels 10 col.lectors d'escolament de la parcel.la 3 s'obté una mostra compostada mantenint les proporcions de cada col.lector igual que en el cas del trascol. (capítol 4 i 5)	
Rentat de branques i superfícies inerts	Una mostra per cada rentat de placa o branca	Una mostra conjunta de les 6 plaques o 8 branques de cada zona per Ph i alcalinitat.	Una mostra per cada placa o cada branca per la resta d'anàlisi (capítol 6)

^a Anions: Cl⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ i F⁻, ^b cations: NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ i ^c metalls pesants: Zn, Cr, Ni, V, Cu, Pb, Mn, Co, Hg i Cd.

2.3.5. Valors faltants

En alguna ocasió, tot hi haver ajuntat les mostres, no hi havia suficient volum de mostra per fer totes les anàlisis. En aquests casos l'ordre de preferència de les anàlisis fou: conductivitat, pH, amoni i anions (Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- i F^-), cations i metalls pesants (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ i Zn , Cr , Ni , V , Cu , Pb , Mn , Co , Hg i Cd) i finalment l'alcalinitat. Evidentment, la falta de mostra per fer totes les anàlisis ha ocorregut sempre en setmanes de molt baixa precipitació, això fa que la manca d'aquests valor afecti molt poc al càlcul de la mitjana del període o de l'aport anual corresponent.

A continuació detallo el percentatge de volum que no s'ha pogut analitzar en cada tipus de mostra:

1) A la deposició global no s'ha analitzat l'alcalinitat en el 0.95% del volum a LC i 0.81% a RP, ni la concentració d'anions, cations i metalls pesants en el 0.15% del volum de LC i un 0.13% de RP.

2) Al trascol no s'ha analitzat l'alcalinitat en un 0.47 % del volum a LC i 0.23 % a RP. Tampoc s'ha analitzat la concentració d'anions del 0.02% ni de cations i metalls pesant del 0.14% del volum de trascol de LC ni el contingut d'anions, cations i metalls pesants d'un 0.09% del volum de trascol a RP.

3) Finalment, manca l'alcalinitat del 0.11% del volum d'escolament cortical de LC i pel 0.94 % de volum d'escolament cortical de RP no es coneix ni l'alcalinitat, ni la concentració d'anions, cations ni metalls pesants.

En algunes ocasions s'ha eliminat alguna mostra provinent d'un col·lector degut a possibles contaminacions. Aquestes contaminacions es detectaven de forma visual al camp o en mesurar la conductivitat i trobar valors aberrants respecte als altres col·lectors.

En les setmanes del 16, 23 i 30 d'octubre de 1995 a Riera de Sant Pere s'han eliminat totes les mostres de trascol de la parcel·la 4 degut a contaminació per excrements d'ocell. Per tant la química del trascol d'aquestes setmanes s'ha fet només amb les parcel·les 1, 2 i 3.

2.4. Càlcul de la hidrologia i de la química dels diferents fluxos a nivell setmanal i anual.

2.4.1. Càlcul del volum d'aigua

1) Precipitació: hem agafat com a valor de precipitació setmanal el volum recollit pels pluviòmetres estàndard situats en la clariana a uns 50 m de les parcel·les. La quantitat d'aigua recollida pel pluviòmetre estàndard es mesurava al camp per volumetria.

2) Trascor: Les ampolles amb les mostres de trascor es portaven al laboratori per mesurar el volum d'aigua per gravimetria. Les ampolles estaven tancades hermèticament per evitar qualsevol pèrdua d'aigua durant el transport. Aquest volum es refereix a la superfície de l'embut i s'expressa en $L m^{-2}$.

Com els col·lectors s'han situat a l'atzar dins de cada parcel·la, es pot suposar que la mitjana del volum recollit pels 8 col·lectors és el valor representatiu del trascor mig per aquella parcel·la. Per tant, s'ha agafat la mitjana dels valors de volum de trascor de cada una de les 4 parcel·les com a indicador del trascor mig per zona.

3) Escolament cortical: el volum de l'escolament cortical recollit als bidons de 10 L de capacitat, es mesurava al laboratori per gravimetria. El volum de les mostres recollides en bidons de volum superior a 10 L, es mesurava al camp per gravimetria amb una exactitud de dècimes de litre (veure apartat 2.2.3). Així obtenim els litres recollits per cada arbre a cada setmana.

Tal com expliquem a l'apartat 2.2.3., es van escollir els arbres per instal·lar els col·lectors d'escolament cortical basant-nos en la hipòtesi que la quantitat d'escolament cortical recollit per cada arbre en cada episodi depenia del tamany de l'arbre, expressat per la secció del tronc a 1.30 m. Si aquesta hipòtesi es complia, aleshores per calcular el flux d'escolament cortical corresponent a cada parcel·la i episodi calia considerar la quantitat recollida per cada arbre com la quantitat mitjana d'escolament cortical recollida pels arbres de la seva classe. Però tal com es discuteix al capítol 3 (apartat 3.4.10), no hem trobat cap relació entre la secció del tronc i els litres totals recollits per arbre durant tot el període

d'estudi. Conseqüentment, es va calcular l'escolament cortical per cada setmana com el producte del valor mig d'escolament cortical recollit pels 10 arbres en aquell setmana multiplicat pel número d'arbres de les 4 parcel·les. Aquesta quantitat es va dividir per la superfície de les 4 parcel·les per obtenir l'escolament cortical de les 4 parcel·les en $L m^{-2}$ (o mm) de pluja rebuts.

4) Intercepció: el valor de la intercepció setmanal es va calcular com la quantitat de precipitació la suma de la quantitat del trascol i l'escolament cortical de la setmana respectiva.

5) Valors anuals: Com el període d'estudi no coincideix exactament amb un any, el volum anual de cada flux és: la suma dels seus valors setmanals per tot el període (en mm de pluja) dividit pel nombre de dies de mostreig (seria el volum mitjà diari) multiplicat pels 365 dies de l'any i expressat en $mm any^{-1}$.

2.4.2 Càlcul de les concentracions mitjanes ponderades per volum

La conductivitat o la concentració mitjana d'una sèrie de mostres amb diferent volum no es pot calcular com la mitjana aritmètica, doncs l'aport de cada mostra al valor mig no és igual ja que les mostres són de volum diferents. Si ignorem aquest fet, aleshores infravalorem la concentració de les de major volum i sobrevalorem l'aport a la mitjana de les mostres de menor volum. S'ha establert des de fa temps que hi ha una relació negativa entre concentració i volum de precipitació o trascol (Likens et al, 1977, Parker, 1983) i, per tant, la concentració de les mostres varia molt depenent del volum de precipitació, i això fa necessari ponderar les mitjanes. El mateix passa quan calculem qualsevol estadístic de dispersió com la desviació estàndard. Per això sempre que hem calculat mitjanes (o altres estadístics) de conductivitat o concentració, a partir de mostres de diferent volum, ho hem fet ponderant el valor de cada mostra pel volum que representa sobre el total. La mitjana ponderada per volum l'hem calculat de la següent manera:

$$\bar{Y}_p = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

(2.1)

On Y_i és el valor de cada mostra per la variable considerada, w_i és el valor de la variable per la que es pondera la mitjana, que en el nostre cas és el volum i n és el número de mostres promitjades.

En el cas de la desviació estàndard ponderada per volum, la fórmula utilitzada en el seu càlcul ha estat:

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_p) w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}}$$

(2.2)

Aquestes fórmules les hem utilitzat sempre que calculàvem la mitjana o la desviació estàndard a partir de mostres de diferent volum, com poden ser: les mitjanes per parcel·la de conductivitat del trascol a partir de les conductivitats de cada col·lector, les mitjanes setmanals dels components químics analitzats al trascol a partir dels valors de les parcel·les i les mitjanes de les concentracions de trascol, deposició global i escolament cortical per tot un període, calculades a partir dels valors setmanals d'aquest fluxos.

2.4.3. Càlcul del pH i l'alcalinitat d'un període.

Per calcular la mitjana ponderada de la concentració de H^+ i de l'alcalinitat, en el cas que totes les mostres siguin alcalines o totes àcides (com per exemple la mitjana del trascol setmanal d'una zona a partir de les mostres de les quatre parcel·les de cada zona) la mitjana ponderada la calculem segons la fórmula 2.1. El pH mig es calcula en aquests casos a partir de la concentració mitjana ponderada d' H^+ segons l'expressió $pH = -\log[H^+]$ (expressat en eq L^{-1}).

Però per calcular el pH mitjà de les mostres d'un període en que es barregen mostres alcalines i àcides s'ha de considerar que la concentració de H^+ no és una variable conservativa. Per tant, en aquests casos no es pot calcular

directament el pH mig d'un període a partir del $-\log$ de la concentració mitjana ponderada per volum de H^+ . La variable conservativa a promitjar en aquest casos és l'alcalinitat (Liljestrang 1985, Piñol, 1990). En estudis on no hi ha pluges d'alcalinitat positiva, com és el cas de la majoria d'estudis sobre pluja àcida al centre i nord d'Europa i a Nord-americà, l'error que es comet és negligible si es calcula el pH mig directament a partir dels valors individuals de pH de cada pluja (Young et al, 1988). Però, en el nostre cas, degut a que es barregen mostres àcides i alcalines en un mateix període, el pH mig d'aquest període s'ha de calcular a partir de la variable conservativa de l'acidesa mineral, o del seu invers, l'alcalinitat (Hantschel and Klemm, 1987, Piñol, 1990). A continuació desenvolupem la fórmula que permet calcular el pH a partir de l'alcalinitat basant-nos en les equacions d'equilibri del sistema carboni-carbonat (Stumm i Morgan, 1981):

1) Constant de la llei de Henry:

$$[H_2CO_3]/pCO_2 = K_H \quad (2.3)$$

2) 1era constant d'acidesa:

$$[H^+][HCO_3^-]/[H_2CO_3]=K_1 \quad (2.4)$$

igualant les equacions (2.3) i (2.4)

$$[HCO_3^-]= K_1 K_H pCO_2/[H^+] \quad (2.5)$$

Aplicant logaritmes:

$$\log [HCO_3^-]= \log K_1 K_H + \log (pCO_2)/\log[H^+] \quad (2.6)$$

Esent el valor de $K_H=10^{-1.41}$ i el de $K_1=10^{-6.38}$, a $25^\circ C$ i $pCO_2=10^{-3.5}$, substituïm-los a l'equació (2.6), tenim:

$$\log [HCO_3^-]= -\log[H^+]+\log(10^{-1.41} 10^{-6.38})+\log (10^{-3.5}) \quad (2.7)$$

i, finalment, expressat en eq/L:

$$\log [HCO_3^-]= pH-7.79-3.5 \quad (2.8)$$

$$\text{pH} = \log [\text{HCO}_3^-] + 11.29 \quad (2.9)$$

Si substituïm $[\text{HCO}_3^-]$ pel valor de l'alcalinitat mitjana ponderada per volum d'un període determinat obtenim el pH mig ponderat per volum del mateix període.

Aquest càlculs impliquen assumir dues suposicions: 1) tota l'alcalinitat prové del HCO_3^- i 2) el sistema es troba en equilibri amb el CO_2 atmosfèric. La primera suposició implica que el paper que els àcids orgànics poden tenir en l'alcalinitat de la mostra és negligible. En zones de pH clarament més àcid que en el nostre estudi, la influència dels àcids orgànics (especialment carboxílics) en l'acidesa lliure de la precipitació és relativament petita. Així s'ha estimat que els àcids orgànics aporten entre un 5 i un 18% de la concentració de protons lliure en l'aigua de la pluja (Bachman and Peden, 1987, Chapman et al, 1986, Likens and Galloway, 1983). Si bé, Keene and Galloway (1984), estimen que els àcids orgànics poden contribuir entre un 16-35 % de l'acidesa lliure de la pluja en la selva amazònica, i Sanhuenza et al, (1989), a la sabana Veneçolana amb pluges de $\text{pH}=4.7$, estima que fins a un 60% de la acidesa lliure de la pluja es deguda als àcids formic i acetic. En qualsevol cas tots aquests estudis s'han fet en zones amb pluges de pH clarament àcids. En el cas del trascol i de l'escolament cortical la importància de la influència dels àcids orgànics és segurament major que en el cas de la pluja, ja que el rentat de les capçades augmenta el contingut de substàncies orgàniques solubles en general, incloent els àcids orgànics (Hoffman et al, 1980b, McDowell and Likens, 1988, McClaugherty, 1983). Per tant, assumir que tota l'alcalinitat és deguda al carbonat és una simplificació que implica un cert error. Degut al desconeixement de la importància d'aquests àcids en les nostres mostres o en estudis en zones similars no ens és possible valorar la magnitud de l'error que es comet amb aquesta simplificació.

Per calcular l'alcalinitat mitjana ponderada per volum, com l'alcalinitat és una propietat conservativa, es pot utilitzar la mateixa fórmula 2.1, sumant però les alcalinitats positives i negatives (Rodà et al, 1993). Vam detectar però que al llarg de tot el treball, amb la metodologia utilitzada, les mesures obtingudes quan l'alcalinitat era negativa no eren satisfactòries. A la precipitació hem

obtingut alcalinitat negativa en un 30 % de les setmanes a LC i en un 37% a RP, en el cas del tràscol en un 5.4% a LC i en un 6.5% a RP, i en el cas de l'escolament cortical en cap cas a LC i només a un per RP. En aquestes mostres, l'alcalinitat mitjana ponderada per volum corresponent a aquella setmana, l'hem calculat a través de les equacions d'equilibri del sistema carbònic-carbonat (Stumm and Morgan, 1981) que impliquen assumir les suposicions comentades al paràgraf. Així, basant-nos les equacions 2.3 i 2.4:

$$\text{Alc}=[\text{HCO}_3^-]-[\text{H}^+] \quad (2.10)$$

Si substituïm a l'expressió 2.5. el valor de $K_H=10^{-1.41}$ i el de $K_1=10^{-6.38}$, a 25°C i $p\text{CO}_2=10^{-3.5}$ tenim:

$$[\text{HCO}_3^-]=10^{-11.3}/[\text{H}^+] \quad (2.11)$$

on $[\text{HCO}_3^-]$ i $[\text{H}^+]$ s'expressen en concentracions molars. Transformant ambdós ions en $\mu\text{eq L}^{-1}$ obtenim:

$$[\text{HCO}_3^-]= 5.0/[\text{H}^+] \quad (2.12)$$

que substituïm a (2.10):

$$\text{Alc}= (5.0/[\text{H}^+)]-[\text{H}^+] \quad (2.13)$$

El que ens permet calcular l'alcalinitat d'aquelles setmanes en que hi ha hagut problemes analítics. Aquest procediment ha estat utilitzat amb anterioritat per calcular el pH mig anual de la pluja sobre localitats de Catalunya, Prades i Montseny, (Àvila, 1996, Escarré et al, 1998, Piñol, 1990) i pel tràscol (Bellot et al, 1998)

2.4.4. Càlcul dels aports químics setmanals i anuals.

Els aports de deposició global, tràscol i escolament cortical setmanals s'han obtingut com producte entre la mitjana ponderada per volum de l'alcalinitat o de la concentració del ió corresponent multiplicat pel volum (expressat en L m^{-2}) enregistrat per aquell flux a aquella setmana. Expressem els aports com pes per unitat de superfície, excepte en el cas de l'alcalinitat que els

expressem com equivalents per unitat de superfície. En el cas d'ions compostos per diferents elements s'expressa el pes de l'element

Els aportes en la deposició global inclouen els aportes detectats en el rentat d'embuts. Per calcular el flux associat al rentat dels embuts, hem considerat la concentració obtinguda en el rentat multiplicada pel volum utilitzat en cada rentat i referit a la superfície del quatre embuts de deposició global (apartat 2.2.1). Els aportes de deposició global d'una setmana inclouen, doncs, l'aport provinent del rentat d'embuts de totes les setmanes des de l'última precipitació.

Per calcular els aportes setmanals de trascol net, restem els aportes en forma de trascol i escolament cortical als aportes de deposició global (que inclouen els aportes del rentat d'embuts).

Els aportes de trascol i escolament cortical que anomenem "setmanals" i que assignem a la setmana en que enregistrem aigua en algun dels fluxos no pertanyen exclusivament a aquells set dies. Així, hi ha ocasions en que durant 2 o 3 setmanes no va ploure, i en aquests casos hi ha una sèrie de processos que en cap cas es pot considerar que afecten a aquesta darrera setmana sinó a tot els dies des de l'última precipitació. Aquests processos són: l'entrada d'elements via deposició seca, els elements que precipiten en evaporar-se l'aigua interceptada a l'última pluja (o la de les precipitació sense prou volum com per recollir trascol i/o escolament cortical) i també altres processos a nivell de capçada que poden afectar aquests fluxos (com exudats, efecte de la microbiota.. etc). Assignar, doncs, el trascol o l'escolament cortical com pertanyent a aquests últims set dies és erroni i degut a que sovint no coneixem exactament el moment de la última precipitació, no podem assignar amb exactitud el número de dies als que realment pertany aquell valor que anomenem setmanal.

Els aportes corresponents a tot un període de mostreig s'expressen com pes per ha i any, excepte a l'alcalinitat que s'expressen com equivalent per ha i any. Per calcular-ho sumem tots els aportes setmanals inclosos en el període i els dividim pel número de dies que hi ha entre l'últim dia de precipitació abans del primer mostreig i l'últim dia en que es va mostrejar. Amb aixó obtenim els aportes mitjans per dia de tot el període, aquest valor multiplicat per 365 dies que té un any i referit a un hectàrea de superfície és el valor d'aport anual.

2.4.5. Valors no detectats

En diferents tipus de mostres i per diferents anàlisis no hem pogut detectar cap valor amb la tècnica analítica utilitzada. En aquets casos, una possible correcció es considerar la meitat del límit de detecció com a valor d'aquella mostra, correcció que implica considerar que els valors entre el 0 i el límit de detecció tenen una distribució simètrica. Aquesta aproximació l'hem fet servir quan calia aquell valor no detectat per calcular valors corresponents a un període més àmpli (com per exemple la mitjana ponderada per volum del període o els aportos anuals). Tot i que en aquells casos en que hi havia moltes mostres d'un període (més del 30 %) que no superaven el límit de detecció, hem eliminat aquella variable per tot el període. Quan hem analitzat les dades de forma individual però (per exemple en una correlació amb una altre variable) aquests casos no detectats no es consideren en els càlculs.

2.4.6 Períodes utilitzats en els diferent càlculs

Tal com hem mostrat a la taula 2.2., les dates d'inici dels diferents tipus de mostreig i a les dues zones no han estat sempre les mateixes. Per evitar la possible confusió que això comporta, a totes les taules de resultats dels diferent capítols s'assenyala el període al que es refereixen les dades. Indiquem a continuació els criteris utilitzats per escollir aquests períodes, criteris que són comuns a tots els capítols:

1) Quan les dades s'utilitzen a cada zona per separat es considera sempre el període més llarg en el que hi ha dades: a) per la deposició global, el rentat d'embuts i el trascol de LC aquest període compren des del dia 3-11-94 al 25-6-96 si considerem els valors de volum, d'alcalinitat, conductivitat i concentracions del anions i cations. b) A RP el volum i totes les variables químiques s'han mostrejat en el període del 23-1-95 al 25-6-96. quest mateix període s'utilitza pels metalls pesants de LC. c) Per l'escolament cortical d'ambdues zones el període és el comprés entre el 6-6-95 i el 25-6-96. (Capítols 2, 3, 4 i 5)

2) Quan comparem les dades de volum d'aigua o de les variables químiques entre les dues zones utilitzem les dades del període més llarg conjunt: a) per la deposició global, el rentat d'embuts i el trascol aquest període compren

des del 23-1-95 al 25-6-96. b) En el cas de l'escolament cortical és el comprés entre el 6-6-95 i el 25-6-96. (Capítols 2, 4, 5 i 7)

3) Quan calculem els aportats anuals de tots els elements necessitem utilitzar els aportats d'escolament cortical per calcular els aportats de trascol net. Per tant, utilitzem les dades del període del 6-6-95 al 25-6-96 ja que abans no disposàvem de dades d'escolament cortical (Capítols 4, 5 i 7). És el mateix que pels càlculs d'intercepció de la precipitació, pels que necessitem conèixer el volum d'escolament cortical (Capítol 2).

2.5 Tractament estadístic

Per aplicar tests basats en models lineals cal que les dades compleixin dues condicions: 1) que s'ajustin a una normal i 2) que hi hagi homoscedasticitat entre les variables. Gran part de les dades presentades en aquest treball no compleixen alguna d'aquestes condicions, així: 1) la distribució dels valors setmanals de la hidrologia i química de la deposició global, del trascol, d'escolament cortical i de la intercepció presenten típicament distribucions amb forma de j invertida. En aquest cas s'ha aplicat la transformació $x'=\log(x)$ o $x'=\log(x+1)$ quan hi havia algun valor igual a 0 (Sokal, 1995). 2) En altres casos hem utilitzat dades expresades com a proporcions (per exemple els percentatges de volum setmanal de trascol, escolament cortical i intercepció), la distribució dels quals no s'ajusta a una normal i que presenten variacions amb una pronunciada heteroscedasticitat. En aquest cas la transformació proposada a la literatura i que hem aplicat nosaltres és l'arcsinus de l'arrel quadrada del valor donat (Sokal, 1995). Per tots els casos la normalitat es va comprovar mitjançant l'anàlisi dels residus i l'homoscedasticitat amb el test F d'igualtat de variacions.

Alguns dels resultats obtinguts en aquest treball impliquen un nombre elevat de tests estadístics molt relacionats entre si. Per exemple hem utilitzat matrius de correlació utilitzant fins a 13 variables. Rice (1988) en correlacionar 12 variables troba que la probabilitat de que hi hagi una correlació significativa (amb un nivell de significació de 0.05) només per efecte de l'atzar és d'un 95%. És a dir, quan es fa un grup de tests sempre hi ha un biaix que implica que s'accepta un nombre de tests significatius major que el que s'hauria d'acceptar.

Per evitar aquest efecte, Rice (1989), proposa corregir el nivell de significació de cada prova individual utilitzant el test seqüencial de Bonferroni, test no paramètric desenvolupat per Holm (1979). Aquest test permet: 1) controlar millor la probabilitat de refusar incorrectament una o més hipòtesis nul·les, 2) mantenir simultàniament un poder substancial en detectar les hipòtesis nul·les que són falses.

Per recalculer aquestes significacions amb el test seqüencial de Bonferroni seleccionem un nivell de significació $\alpha = 0,05$. Posteriorment calculem el nivell de significació de cadascun dels tests individualitzats i els ordenem segons el seu valor. Anomenem P_1 al nivell de significació més petit d'aquest rang, i k al número de proves totals. Si $P_1 \leq \frac{\alpha}{k}$, aleshores es considera la prova com a significativa i es procedeix amb la segona menor significació (P_2). Es repeteix el procés fins que $P_n > \frac{\alpha}{(k-n)}$, aleshores la prova corresponent a aquests valor i les de tots els valors superiors es consideren no significatives. Si volem calcular el valor numèric la significació corregida d'un test que es troba a la posició i (α_i), es calcula com $\alpha = P_i * (k - i)$.

Una pregunta que ens podem fer abans d'aplicar aquesta tècnica és: quan considerem que un grup de tests s'ha de considerar conjuntament?. La resposta no s'ha establert clarament (Miller, 1981, Rice, 1989). En el anàlisi dels nostres resultats, hem aplicat aquesta tècnica en aquells casos en que s'ha fet servir un nombre molt elevat de tests per provar una hipòtesi conjunta.

En diferents parts del treball hem volgut testar estadísticament si hi havia diferències entre les dues zones d'estudi en alguna de les variables analitzades als diferent fluxos. En el cas de la deposició global i l'escolament cortical per fer aquesta comparació hem utilitzat un test t-Student de dues cues i de dades aparellades, on cada parella consta dels respectius valors setmanals a cada zona per la variable testada. En canvi, per comparar les variables del trascol entre les dues zones, ho hem fet mitjançant un ANOVA amb la zona (LC o RP) com a factor i com rèpliques els valors globals pel període a testar de cada una de les 4 parcel·les de trascol. El motiu d'aquest diferent tractament és, que com veurem en els capítols 2, 4 i 5, la variabilitat espacial del trascol és inferior a la seva variabilitat temporal. Per tant un test que consideri com rèpliques d'una

zona valors del trascol que difereixin entre ells degut a a la variabilitat espacial (valors anuals de les parcel·les) serà més potent que un que consideri com rèpliques valors que difereixen degut a la variabilitat temporal (valors setmanals del trascol) ja que els estadístics de dispersió calculats a partir de la variació espacial tindran valors menors. En el cas de la deposició global i de l'escolament cortical disposem de poques rèpliques espacials en un nombre suficient de setmanes (veure taula 2.4), per tant, en aquest cas necessàriament la comparació cal fer-la entre els valors setmanals.

El nivell de significació emprat a totes les proves estadístiques presentades a aquest treball és de 0.05, si bé per alguns casos es detalla més acuradament la significació trobada.

Capítol 3
Comportament hidrològic de la precipitació,
el trascol i l'escolament cortical a dos
alzinars del Montseny

3 Comportament hidrològic de la precipitació, el trascol i l'escolament cortical a dos alzinars del Montseny

3.1 Introducció

L'aigua de la precipitació que arriba a un bosc, en passar per la capçada es distribueix entre intercepció, trascol i escorrentia cortical (Ovington 1954, Molchanov, 1963, Parker, 1983). Determinar la magnitud d'aquests fluxos ens permet conèixer quina és la quantitat d'aigua que efectivament arriba al sòl del bosc i en quina forma ho fa.

En un context de clima mediterrani amb episodis de fortes sequeres i amb formacions vegetals de creixement limitat per la disponibilitat d'aigua, determinar acuradament quina és la quantitat d'aigua que es perd per intercepció resulta encara de major interès que en zones amb precipitacions més abundants. En el cas concret dels alzinars, alguns estudis mostren directa o indirectament que el seu creixement es troba limitat per l'aigua (Mayor et al, 1994, Gracia et al, 1998) i que fortes sequeres produeixen un augment de la mortalitat d'individus d'alzina (Lloret i Siscart, 1995, Prades, Peñuelas,). Tot i que en els alzinars concrets on es realitza el present estudi, les precipitacions anuals són superiors a algunes de les zones dels treballs citats (Àvila, 1996, Bellot et al, 1998), conèixer l'aigua que entra a aquests boscos és fonamental per interpretar el seu estat hidric així com per calcular els balanços hidrològics a nivell de conca (Rodà, 1983; Àvila et al, 1992)

La fracció de precipitació que es distribueix en intercepció, trascol o escolament cortical varia considerablement depenent de les característiques de la capçada (Crockford and Richardson, 1990, Ford and Deans, 1978, Kellman and Roulet, 1990, Masukata et al, 1990, Molchanov, 1963, Návar, 1993, Neal et al, 1993 Ovington, 1954, Stogsdill et al, 1989). Igualment aquesta distribució depèn de variables meteorològiques pròpies de cada pluja, el que provoca una variabilitat força gran entre les diferents setmanes de precipitació per a una mateixa cobertura vegetal (Jackson, 1975, Johnson, 1990, Tang, 1996, Viville et al, 1993). Això determina que els models d'intercepció proposats per diferents autors (Aston 1976, Bouten et al, 1996, Gash, 1979, Massman, 1980, Rutter and Morton, 1977) considerin tant característiques pròpies de la vegetació (capacitat

de saturació de la capçada, coeficient de trascol lliure, rugositat de la superfície de la capçada...), com variables meteorològiques de cada precipitació (taxa d'evaporació mitjana, intensitat mitjana de la pluja, duració de la pluja, radiació neta, temperatura, velocitat del vent, dèficit de pressió de vapor...). Aquests models són útils en la mesura en que permeten estimar la quantitat d'intercepció d'una determinada formació vegetal a partir de característiques pròpies de la vegetació i mesures meteorològiques fàcils d'obtenir i que no impliquin el mostreig continuat del trascol i l'escolament cortical durant llargs períodes de temps (Pearce and Rowe, 1981, Rutter et al, 1975).

La redistribució per part de la capçada de l'aigua de la precipitació en trascol i escolament cortical determina que l'àrea de sòl del voltant del tronc rebí una quantitat d'aigua superior a la que rep la resta del sòl (Kellman and Roulet, 1990, Parker, 1983, Taniguchi et al, 1996) . Igualment la distribució espacial del trascol és molt variable, de manera que col·lectors de trascol situats a l'interior d'un bosc poden recollir quantitats d'aigua força diferents entre ells. (Carleton and Kavanagh, 1990, Loustau et al, 1992, Viville et al, 1993, cites). Es sap també que la quantitat d'aigua en forma d'escolament cortical pot variar molt entre els diferents arbres d'un mateix bosc. (Loustau et al, 1992, Taniguchi et al, 1996). Aquesta gran variabilitat espacial determina doncs un patró d'arribada de l'aigua al sòl molt heterogeni i diferent al de la pluja incident a la capçada del bosc. Diversos treballs que relacionen aquesta patró espacial amb diferents característiques de capçada obtenen resultats diferents i això no permet, de moment, establir un patró generalitzable (Bellot, 1988 , Crockford II, 1990, Ford and Deans, 1978, Johnson, 1990, Loustau et al, 1992, Prebble and Stirk, 1980). Per altra banda, aquesta heterogeneïtat implica una dificultat metodològica en la mesura tant del trascol com de l'escolament cortical. Generalitzant, cal dissenyar experiments amb un elevat nombre de col·lectors, o bé treballar acceptant intervals de confiança força amplis per les mesures. (Czarnowski and Olszewski, 1970, Kimmins, 1973, Kostelnik et al, 1989)

En aquest capítol ens basem en els dades obtingudes als alzinars de La Castanya i de Riera de Sant Pere, descrits al capítol introductori, per:

i) Quantificar el volum total d'aigua de la pluja, la intercepció, el trascol i l'escolament cortical.

ii) Descriure la magnitud i característiques de la variabilitat temporal d'aquests fluxos.

iii) Establir mitjançant un model de regressió múltiple la relació entre la variabilitat temporal d'aquests fluxos amb determinades variables meteorològiques.

iv) Descriure la magnitud i característiques de la variabilitat espacial dels fluxos de trascol i escolament cortical.

v) Relacionar la variabilitat espacial del trascol i l'escolament cortical amb diverses variables estructurals del bosc.

3.2 Metodologia

El treball es va dur a terme a l'alzinar de l'estació biològica de La Castanya (LC) i el de a prop de Riera de Sant Pere de Vilamajor (RP), descrits al capítol 2 (en aquest mateix primer capítol es descriu també els tipus de col.lectors utilitzats i com era el seu mostreig). En el present apartat detallarem com es mesurava el volum recollit pels diferents col.lectors i com s'han calculat els fluxos hidrològics de precipitació, intercepció, trascol i escolament cortical, tant per cada episodi setmanal de mostreig, com pel període d'estudi complet.

3.2.1 Número de precipitacions per mostreig setmanal

Com el mostreig era setmanal (apèndix 3.1 a i b), cal tenir present que les mesures de cada mostreig setmanals són sempre el resultat global de tots els episodis de precipitació ocorreguts durant aquella setmana

A l'apèndix 3.2 es mostren els episodis de pluges individualitzades que es van donar en cada setmana durant l'últims mesos del període d'estudi. En aquest context el criteri per separar una pluja d'una altra pluja fou el de considerar la pluja com finalitzada quan el pluviògraf no enregistrava precipitació durant dues hores seguides. En aquesta taula s'observa que el fet que una setmana coincideix amb una sol episodi de pluja, només ocorre en una ocasió a LC i en ninguna a RP, en la resta de setmanes n'hi ha més d'una pluja

per episodi. A LC trobem de mitjana 7.6 episodis per setmana i 6.6 per RP. Tot i que aquestes dades no comprenen tot el període d'estudi (veure apèndix 3.1) sembla clar que pràcticament en cap cas es pot assignar una sola pluja a un setmana.

Per tant per relacionar volums de trascol o escolament cortical i variables meteorològiques, ha calgut obtenir mitjanes setmanals per algunes variables (per exemple intensitat de la pluja o velocitat del vent) o la suma de la setmana (precipitació) per poder-ho relacionar.

3.2.2 Correccions del trascol per sobreiximent de col·lectors

Durant la setmana del 11/12/95 al 18/12/95 a l'estació de LC es va enregistrar una precipitació de 174,1 mm, que va superar la capacitat de recollida dels col·lectors de trascol. Això ens impedeix conèixer el trascol exacte d'aquesta setmana. Per estimar aquest valor s'ha utilitzat la regressió entre la quantitat de precipitació i la quantitat de trascol representada a la figura 3.3 El valor de trascol així obtingut és de 146.28 mm. Tot i l'elevada significació de la recta ($p < 0.0001$, $R^2 = 0.993$), això no es prou garantia de la validesa de l'estima, ja que el valor de la pluja d'aquesta setmana és extrem, és a dir, no està inclòs en el rang de valors amb els que s'ha fet la regressió. Per tant, estimar el valor de trascol d'aquesta manera implica acceptar que la regressió es manté lineal fins a aquest punt, cosa que no podem saber. En conseqüència, quan les dades es refereixen als episodis setmanals individualment, s'ha eliminat la dada tant de trascol com de les variables calculades a partir del mateix (per exemple la intercepció), ja que l'estima no resulta prou satisfactòria com a valor d'una setmana concreta. Però per fer els càlculs globals, tant de fluxos d'aigua com químics, no la podem eliminar, ja que subestimariem molt la quantitat de trascol per tot el període. En canvi el possible error en el valor total provocat per la diferència entre l'estima respecte al valor real sempre serà sempre menor que l'eliminació del mateix.

3.2.3 Càlcul de les variables meteorològiques

A LC es disposa d'una estació meteorològica que proporciona mesures de volum de pluja en intervals de 10 min i mitjanes horàries d'intensitat i direcció

del vent. A RP dispodem d'un pluviograf que proporciona mesures de volum de precipitació cada 5 min (apartat 2.2.4). Malgrat que aquesta informació meteorològica es pugui obtenir en intervals de temps molt petits, degut a que les mesures de trascol, escolament cortical i intercepció són setmanals, per poder relacionar les mesures hidrològiques i meteorològiques cal calcular valors setmanals de les variables meteorològiques. Així a la taula 3.1 s'especifica un seguit de variables que es van calcular amb les dades meteorològiques que permeten caracteritzar millor cada setmana segons el nombre d'episodis de pluja, la intensitat de la precipitació i la intensitat del vent. Als apèndixs 3.3 a i b es mostren els valors setmanals de totes aquestes variables a les dues zones pel període entre el 15/1/96 i el 25/6/96 per LC i entre el 13/11/95 i el 25/6/96 per RP ja que són els períodes dels que disposem de dades meteorològiques.

3.2.4 Tractament estadístic

Els mètodes estadístics utilitzats es comenten al llarg del capítol conjuntament amb els resultats, tantmateix indico en aquest apartat aquells emprats de forma més general.

Un dels requisits per aplicar molts tests estadístics és que els casos de la mostra siguin independents entre ells. Amb dades de sèries temporals, com el cas de moltes de les dades aquí presentades, és probable trobar dependència entre observacions. El que és el mateix, seria raonable pensar que, per exemple, la quantitat de trascol d'una setmana concreta depengui de la quantitat de trascol de la setmana anterior. Per testar l'existència d'aquesta possible dependència, per totes les sèries temporals analitzades calcularem $r(1)$, que és el coeficient d'autocorrelació de primer ordre ($r(1)$ = el coeficient de correlació lineal entre $X=(x_2, \dots, x_n)$ i $Y=(x_1, \dots, x_{n-1})$). Si la correlació no és significativa vol dir que no hi ha dependència entre una mesura i la següent.

Per aplicar tests basats en models lineals cal que les dades compleixin dues condicions més: 1) que s'ajustin a una normal i 2) que hi hagi homoscedasticitat entre les variables. Gran part de les dades presentades en aquest capítol no compleixen alguna d'aquestes condicions o cap de les dues i cal aplicar transformacions per aconseguir que les dades compleixin els dos requisits. Les mesures de quantitat de pluja, de trascol, d'escolament cortical i

de intercepció presenten típicament distribucions amb forma de j invertida i s'ha aplicat la transformació $x'=\log(x+1)$, i per les dades expresades com a percentatges $x'=\arcsin(\sqrt{x})$. Per tots els casos la normalitat es va comprovar mitjançant l'anàlisi dels residus i l'homoscedasticitat amb el test F d'igualtat de variàncies.

Per algunes mesures s'ha aplicat el test del signe, un test no paramètric senzill que permet comparar els valors de dues sèries temporals aparellades. S'assigna a les parelles d'una sèrie temporal el signe + o - segons si el valor d'una de les sèries es superior o inferior al corresponent de l'altra sèrie (els casos en que la diferència és 0 no es consideren). Assumint com a hipòtesi nula que el fet que un valor sigui superior o inferior al seu corresponent de l'altra sèrie depèn només de l'atzar, la probabilitat (p) d'obtenir un signe + és igual a la probabilitat (q) d'obtenir un signe - i igual a 0.5. Aleshores es calcula la probabilitat d'obtenir un número r de signes + sobre un total de n possibilitats. Les probabilitats de $r=1..n$ es distribueixen seguint una distribució binomial. Si el doble de la probabilitat d'obtenir a l'atzar r signes positius és inferior al nivell de significació refusarem la hipotesi nula $p=q=0.5$. En aquest cas, la probabilitat que el valor d'una de les dues sèries sigui superior al seu corresponent de l'altra sèrie no dependrà de l'atzar sinó que hi haurà una tendència a que en una sèrie hi hagi valors superiors. En la presentació dels resultats s'especifica quan i perquè s'ha fet servir aquest test.

En totes les proves considerem 0.05 com a nivell de significació i en les anàlisis de la variància, els tests *a posteriori* de comparació de grups 2 a 2 es fan amb el mètode de Fischer.

Taula 3.1 Variables meteorològiques setmanals.

Variable	Forma de calcular-la
N^{12}	Nombre d'episodi de pluges que hi ha durant la setmana. Es considera un episodi de pluja individualitzat aquell en el que entre els diferents registres de pluja no hi ha intervals superiors a 2 hores sense enregistrar precipitació.
H^{12}	Mitjana de les hores que separen els diferents episodis de pluja d'una setmana.
P^{12}	Volum total de precipitació de tota la setmana en mm.
$M5I^{12}$	Per cada un dels episodis dintre de cada setmana s'obté el valor màxim d'intensitat de precipitació en 5 min. Aleshores es calcula la mitjana d'aquests valors i s'expressa en $mm\ h^{-1}$, que serà la mitjana de les intensitats màximes en 5 min per episodi d'aquella setmana.
$5I^{12}$	Per cada un dels episodis dintre de cada setmana s'obté el valor màxim d'intensitat de precipitació en 5 min. De entre aquests valors es selecciona el valor màxim expressat en $mm\ h^{-1}$, que serà la intensitat màxima enregistrada aquella setmana en 5 min.
$M10I^{11}$	Per cada un dels episodis de cada setmana s'obté el valor màxim d'intensitat de precipitació en 10 min. Aleshores es calcula la mitjana d'aquests valors i s'expressa en $mm\ h^{-1}$, que serà la mitjana de les intensitats màximes en 10 min per episodi d'aquella setmana.
$10I^{11}$	Per cada un dels episodis dintre de cada setmana s'obté el valor màxim d'intensitat de precipitació en 10 min. De entre aquests valors es selecciona el valor màxim expressat en $mm\ h^{-1}$, que serà la intensitat màxima enregistrada aquella setmana en 10 min
$M30I^{12}$	Per cada un dels episodis dintre de cada setmana s'obté el valor màxim d'intensitat de precipitació en 30 min. Aleshores es calcula la mitjana d'aquests valors i s'expressa en $mm\ h^{-1}$, que serà la mitjana de les intensitats màximes en 30 min de cada episodi per aquella setmana.
$30I^{12}$	Per cada un dels episodis dintre de cada setmana s'obté el valor màxim d'intensitat de precipitació en 30 min. De entre aquests valors es selecciona el valor màxim expressat en $mm\ h^{-1}$ que serà la intensitat màxima enregistrada aquella setmana en 30 min.
MP^{12}	Per cada un dels episodis dintre de cada setmana s'obté el valor màxim d'intensitat de precipitació de l'episodi i el temps que dura el mateix. Aleshores es calcula la mitjana d'aquests valors i s'expressa en $mm\ h^{-1}$, que serà la mitjana de les intensitats de cada episodi per aquella setmana.
P^{12}	Per cada un dels episodis dintre de cada setmana s'obté la intensitat de tota la pluja com el cocient entre el volum de precipitació de l'episodi i el temps que dura el mateix. De entre aquests valors es selecciona el valor màxim expressat en $mm\ h^{-1}$ que serà la intensitat màxima enregistrada aquella setmana en un episodi.
V^1	Per cada un dels episodis es calcula la velocitat mitjana del vent, considerant des del primer registre de pluja de l'episodi fins 2 hores després que finalitza la pluja. Aleshores es calcula la mitjana d'aquests valors i s'expressa en $m\ s^{-1}$, que serà la mitjana de la intensitat del vent per episodi per aquella setmana.
Vm^1	Per cada un dels episodis es calcula la velocitat mitjana del vent, considerant des del primer registre de pluja de l'episodi fins 2 hores després que finalitza la pluja. De entre aquests valors es selecciona el valor màxim expressat en $m\ s^{-1}$ que serà la intensitat màxima enregistrada aquella setmana en un episodi

¹Calculats per LC. ²Calculats per RP.

3.3. Resultats

Els resultats obtinguts es presenten en cinc apartats diferenciats. En cadascun d'ells es presenten les dades de LC i de RP, així com la comparació entre ambdues localitats. El primer apartat presenta les dades referides als fluxos hidrològics anuals, és a dir les quantitats totals i les relacions entre elles. El segon analitza les dades com a sèries temporals i presenta la variabilitat de les mesures al llarg del temps. També estableix la relació entre les variables mesurades considerant períodes setmanals. El tercer apartat es presenta la variabilitat espacial de la distribució del trascol i les relacions establertes amb diferents mesures estructurals. Al quart apartat s'analitza la variabilitat espacial de l'escolament cortical i la seva relació amb l'estructura dels arbres. Finalment en el cinquè es fa una comparació entre la variabilitat temporal i espacial del trascol i de l'escolament cortical.

3.3.1 Quantificació dels fluxos de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció

3.3.1.1 Valors globals

Les quantitats totals de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció recollides durant els diferents períodes d'estudi (apartat 1.2) en ambdues zones es troben a la taula 3.2. També es mostren els percentatges respecte de la precipitació, de trascol i d'escolament cortical.

Comparant les dues zones s'observa que en el segon període, el volum d'aigua de pluja recollit a LC és un 21% superior al de RP, el del trascol ho és en un 27 % i el de la intercepció en un 17%. En canvi, el volum total d'escolament cortical és un 62% superior a RP respecte de LC. Com s'ha explicat a l'apartat 3.2.2, la setmana del 11/12/95 al 18/12/95 rebé una pluja molt alta a LC. Aquesta pluja explica per si mateixa una bona part de les diferències entre ambdues zones. Així, si eliminem les dades de precipitació per aquella data a les dues zones, tenim que les diferències es redueixen clarament: la pluja és un 10.1 % superior a LC, i el trascol i la intercepció, un 15 i un 12% respectivament. Per l'escolament cortical, si no es considera aquesta setmana, obtenim un 90,1% de volum més a RP que a LC.

Taula 3.2 Volum de precipitació, de trascol, d'escolament cortical i de intercepció enregistrat a ambdues zones en els períodes indicats. També s'inclou el percentatge de precipitació (%) del trascol, de l'escolament cortical i de la intercepció.

Zona	n	Precipitació mm/any	Trascol mm/any	Escolament cortical		Intercepció	
				%	mm/any	%	mm/any
LC ₁	66	1023.5	775.6	75.8			
LC ₂	49	1275.2	962.6	75.5	33.9	2.7	278.7 21.8
RP ₁	58	895.5	639.2	71.4			
RP ₂	47	1048.2	755.7	72.1	55.7	5.3	236.7 22.6

LC₁ compren des del 3/11/94 al 25/6/96), RP₁ del 23/1/95 al 25/6/96, LC₂ i RP₂ del 6/6/95 al 25/6/96. n és el número de setmanes en que s'ha registrat pluja durant el període corresponent.

3.3.1.2 Comparació del volum de precipitació, de trascol, d'escolament cortical i de intercepció entre LC i RP.

A l'apèndix 3.1 a i b es llisten els valors de la precipitació, el trascol, l'escolament cortical i la intercepció, a les quatre variables així com el percentatge que representen respecte de la pluja, per a totes les setmanes mostrejades a ambdues zones. Es va calcular el coeficient d'autocorrelació de primer ordre $r(1)$ de les sèries temporals de totes aquestes dades. En cap dels casos aquest coeficient va resultar significatiu, mostrant així que, per totes les variables analitzades (volum de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció i també el percentatge de precipitació corresponent o com la diferència entre zones), cada observació és independent de l'anterior.

Per tal de comparar els valors setmanals dels quatre fluxos entre LC i RP es va aplicar una prova t - Student de dades aparellades de dues cues ($n = 49$, pel període del 6/6/95 al 25/6/96), les dades s'han transformat segons l'expressió: $x' = \log(\text{volum en mm} + 1)$. Si una setmana presentava pluja en una de les zones i no en l'altra, s'assignava el valor 0 allí on no hi ha pluja. Això ocorregué 4 vegades: en tres setmanes va ploure només a LC i en una plogué només a RP. No es consideraven les setmanes en que no havia plogut a cap de les dues localitzacions.

Es va obtenir que si bé el valor mig de pluja i trascol de LC era superior al de RP, aquesta diferència no resulta significativa pel període d'un any (del

6/6/95 al 25/6/96) i només marginalment significativa ($p= 0.0584$ pel cas del trascol i $p=0.0578$ per la pluja) pel període més llarg (del 23/1/95 al 25/6/96 amb $n=58$). L'escolament cortical mig de RP va ser significativament superior al de LC ($p= 0.0002$). La intercepció va ser major a LC també de forma significativa ($p=0.0141$). Els valors mitjans d'aquestes variables es troben a la taula 3.3.

Taula 3.3 Mitjanes del volum de pluja, trascol, escolament cortical i intercepció en ambdues zones pels diferents períodes. D.E. és la desviació estàndard, i E.E. l'error estàndard. El C.V. (coeficient de variació) està en tants per un i calculat com D.E./mitjana. n és el número de setmanes en que s'ha registrat pluja durant el període indicat en cada cas.

	Mitjana mm	D.E.	E.E.	C.V.	Rang	n	Inici del període	Final del període
La Castanya								
Pluja	25.5	31.9	3.92	1.25	0.1-174	66	3/11/94	25/6/96
	25.6	32.3	4.28	1.26	0.1-174	57	23/1/95	25/6/96
	27.4	34.3	4.89	1.25	0.1-174	49	6/6/95	25/6/96
Trascol	19.4	26.2	3.23	1.35	0.0-146	57	23/1/95	25/6/96
	20.9	28.3	4.04	1.36	0.0-146	49	6/6/95	25/6/96
Escolament cortical	0.730	1.29	0.18	1.76	0.0-6.69	49	6/6/95	25/6/96
Intercepció	5.86	5.16	0.74	0.88	0.1-20.9	49	6/6/95	25/6/96
Riera de S.Pere								
Pluja	21.2	23.2	3.10	1.10	0.2-97.0	56	23/1/95	25/6/96
	23.5	24.4	3.55	1.04	0.6-97.0	47	6/6/95	25/6/96
Trascol	15.1	17.4	2.33	1.15	0.0-73.1	56	23/1/95	25/6/96
	17.0	18.3	2.66	1.08	0.0-73.1	47	6/6/95	25/6/96
Escolament cortical	1.25	1.58	0.23	1.26	0.0-5.89	47	6/6/95	25/6/96
Intercepció	5.31	5.31	0.77	1.00	0.50-	47	6/6/95	25/6/96
28.4								

També es va realitzar el test dels signes per valorar les diferències en la quantitat de precipitació entre ambdues zones (taula 3.4). No es troben diferències significatives per la pluja i el trascol en el període d'un any. En conseqüència no es pot afirmar que hi hagi una tendència a haver més setmanes de pluja superior en una zona respecte l'altre. Si considerem el període més llarg trobem una major quantitat de setmanes amb volum de trascol superior a LC (en totes 9 setmanes incloses en el primer període i no en el

segon, el trascol de LC va ser superior al de RP, veure apèndix 3.1 a i b). La intercepció també va enregistrar de forma significativa més setmanes superiors a LC. En canvi, l'escolament cortical presentà significativament més setmanes amb un volum d'escolament cortical superior a RP. Cal remarcar però que en els casos en que les diferències són significatives, el nivell de significació no és molt alt. Així, el canvi d'un sol signe de + a -, pel cas de l'escolament cortical, i de dos signes, pel cas de la intercepció i del trascol, implica que les diferències no siguin significatives.

Taula 3.4. Resultats del test de signes per valorar si el nombre de setmanes en que el volum recollit a LC és superior a RP és significativament diferent al que es donaria si aquest major volum depengués només de l'atzar.

Variable	n	r	$B(r;n,0.5)^*2$	Periode
Pluja	58	36	0,064 ns	23/1/95-25/6/96
Pluja	49	30	0,098ns	6/6/95-25/6/96
Trascol	58	38	0,024 *	23/1/95-25/6/96
Trascol	49	29	0,136ns	6/6/95-25/6/96
Intercepció	49	33	0,022*	6/6/95-25/6/96
Escolament cortical	49	32	0,039*	6/6/95-25/6/96

ns indica diferències no significatives i * diferències significatives amb $p=0.05$. n és el número de setmanes totals considerades en cada cas, r és el número de positius, és a dir les setmanes en que el volum de LC és superior al volum de RP.

3.3.1.3 Distribució de la quantitat setmanal de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció, segons el volum setmanal de precipitació.

Per tal d'estudiar com es repartix la precipitació en els fluxos de trascol, escolament cortical i intercepció depenent de la magnitud de les mateixes, es van dividir les setmanes (periode del 6/6/95 al 25/6/96) en classes segon la quantitat de pluja recollida. Per cada una de les classes es va calcular la suma del volum de precipitació, de trascol, d'escolament cortical i de la intercepció de totes les setmanes de la classe, i també el percentatge que representaven respecte a la precipitació. Els resultats es mostren a la taula 3.5. El número de setmanes i el volum de pluja, trascol i intercepció per classe, són similars a ambdues zones, excepte per la última classe on les quantitats són

considerablement majors a LC. El volum d'escolament cortical, en canvi, és superior a RP en totes les classes excepte en l'última on els valors són similars. Si ens fixem en els valors en percentatge d'aquesta taula, s'observa que a RP els percentatges de trascol són petits a la primera classe i augmenten ràpidament a la segona i a partir d'aquesta classe, l'augment és molt petit. A LC, en canvi, aquest augment és més suau. El percentatge d'intercepció, com és lògic per tal com està calculat, té el comportament contrari, a les classes petites és alt i després disminueix. El percentatge d'escolament cortical a la zona de LC augmenta a cada classe però per RP augmenta fins la classe de precipitacions entre 20 i 50 mm i després es manté estable.

Taula 3.5 Distribució de les setmanes en classes segons el volum de precipitació corresponent. Per cada classe s'expressa el número de setmanes que inclou la classe, així com la suma del volum (en mm) de pluja, trascol, escolament cortical i intercepció recollit per cada setmana inclosa en la classe. Es mostra també el percentatge de trascol, d'escolament cortical i de la intercepció (en % de precipitació). Tots els valors són per al període comprès entre el 6-6-95 i el 25-6-96

	P<5	5≤P<10	10≤P<20	20≤P<50	50≤P
La Castanya					
Precipitació	27.8	48.4	148.3	403.8	716.8
Trascol	9.82	22.8	105.0	311.9	572.2
% de Trascol	35.3	47.1	70.8	77.2	79.8
Escolament cortical	0.008	0.115	1.70	9.49	24.4
% d'Escolament cortical	0.03	0.34	1.14	2.35	3.40
Intercepció	18.0	25.4	41.6	82.4	120.1
% d'intercepció	64.6	52.5	28.1	20.41	16.8
nº de setmanes	13	7	10	11	8
Riera de Sant Pere					
Precipitació	22.4	44.5	177.0	392.2	469.5
Trascol	7.53	29.1	123.6	287.7	349.0
% de Trascol	33.6	65.5	69.8	73.4	74.3
Escolament cortical	0.297	1.32	7.63	24.5	25.0
% d'Escolament cortical	1.32	2.97	4.31	6.25	5.33
Intercepció	14.6	14.0	45.7	80.0	95.4
% d'intercepció	65.1	31.5	25.8	20.4	20.3
nº de setmanes	12	6	12	10	7

3.3.2 Variabilitat temporal dels fluxos de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció

3.3.2.1 Magnitud i patró de la variabilitat

Per descriure la variabilitat temporal del volum de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció, s'ha calculat les mitjanes i els estadístics de dispersió dels seus valors setmanals (veure taula 3.3) per LC i per RP. Hi ha poques diferències en les mesures de dispersió entre els diferents períodes de mostreig, sent les diferències entre les mitjanes les més apreciades. La variabilitat és força alta a ambdues zones i també a LC i RP s'observa que la major variabilitat es dona a l'escolament cortical i la menor en la intercepció (en el cas de LC el C.V. de la intercepció és especialment baix) i, que en la zona de RP la variabilitat de totes les mesures és menor, excepte per la intercepció. Per fer aquestes comparacions cal fixar-se especialment en el coeficient de variació ja que relativitza el valor de la desviació respecte de la mitjana i fa més comparables les dades, especialment en aquest cas en que la distribució de les dades comporta una augment de la variabilitat en augmentar el valor de la mitjana.

Per tal d'analitzar el patró temporal de les variacions en la precipitació, a la figura 3.1 s'ha representat la quantitat de pluja recollida a les localitzacions de LC i RP per cada setmana.

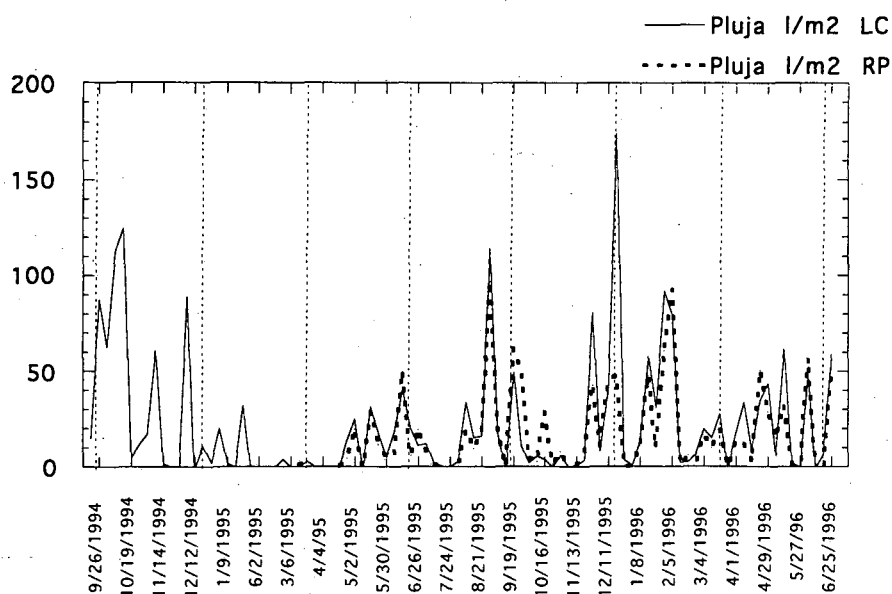


Figura 3.1. Precipitacions setmanals (mm) per les dues zones d'estudi. S'inclouen totes les setmanes encara que no s'hagi recollit precipitació.

La figura mostra que el règim de precipitacions és molt irregular durant tot l'any, i que no hi ha cap tendència marcada. Coincidint amb els resultats del punt 3.2.1.1, la precipitació de LC és superior a la de RP.

A les figures 3.2 s'ha representat el volum mensual de pluja, trascol, escolament cortical i el perdut per intercepció a LC i RP.

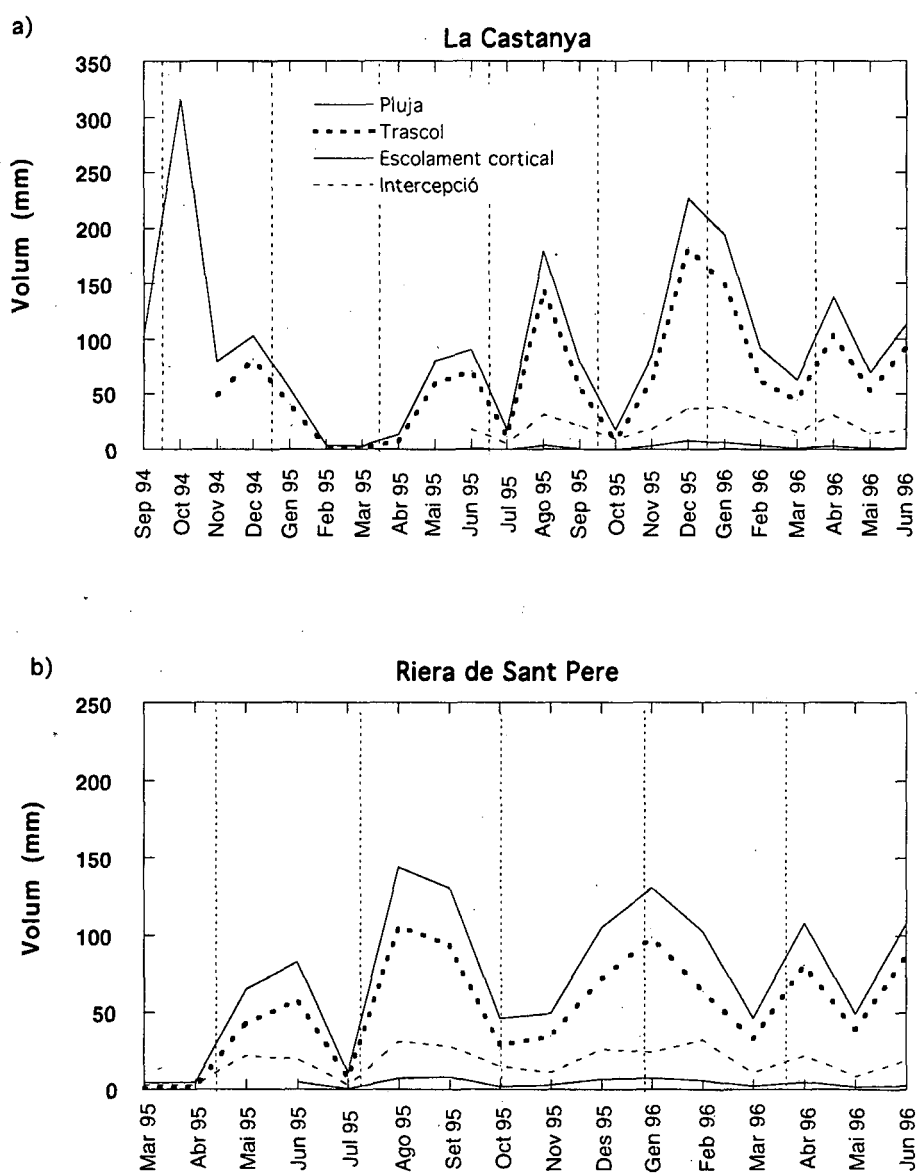


Figura 3.2. Volums mensuals (mm) de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció per LC i RP.

També en aquestes dues gràfiques s'observa un règim de precipitacions força irregular ja que els valors difereixen molt entre mesos. A ambdues zones les línies del trascol i escolament cortical varien paral·lelament a la línia de la precipitació. En el cas de la intercepció també s'observa aquest paral·lelisme, però no de forma tant estricta, de manera que hi ha algun interval en que la precipitació augmenta o disminueix entre dos mesos i en la intercepció passa el contrari.

3.3.2.2 Variabilitat estacional

Les línies discontinües dibuixades tant a les figures 3.1 i 3.2 indiquen el canvi d'estació. Les precipitacions mensuals representades en aquestes figures no semblen presentar cap patró estacional clar en el període d'estudi. Tanmateix, per detectar possibles diferències entre estacions es va fer una anàlisi de la variança prenent com a factor l'estació de l'any i com a variable es van testar els diferents valors setmanals dels fluxos (precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció així com el percentatge de precipitació que representa cada un). Tots els tests resultaren no significatius. Per tant, ni el volum de pluges, de trascol, d'escolament cortical i de intercepció, ni el percentatge de la precipitació que representen no diferiren de forma significativa entre estacions per cap de les dues zones en el nostre període d'estudi.

3.3.2.3 Variabilitat dels fluxos hidrològics en relació a les condicions meteorològiques

Conèixer la relació entre diferents variables meteorològiques i els fluxos hidrològics permetria modelitzar la resposta d'aquest fluxos sense l'esforç que implica mesurar-los directament. L'objectiu que ens proposavem fou doncs relacionar el volum de trascol, d'escolament cortical i d'intercepció amb algunes característiques meteorològiques de les precipitacions de la setmana corresponent. Per fer-ho es va testar un model de regressió múltiple pel mètode pas a pas amb una F de tall de 4.000 on la variable dependent és, respectivament, el valor setmanal de volum de trascol, d'escolament cortical i d'intercepció de cada una de les dues zones i com a variables independents les calculades a partir de les dades meteorològiques descrites a l'apartat 3.2.3.

Només es disposa de dades meteorològiques de 19 setmanes a LC i 27 a RP (apèndix 3.3 a i b). Com el número de casos és petit, introduïm al model un màxim de 4 variables per LC i 5 per RP. Per evitar escollir variables fortament correlacionades entre elles es van calcular els coeficients de correlació entre totes les variables meteorològiques calculades (veure taula 3.6 i 3.7) i s'han escollit les variables que presentin el grau de correlació més baix. Les variables finalment escollides són a LC: P, M30i, 10i, V i a RP: P, M30i, 5i, MPi, H. Totes les variables estan descrites a la taula 3.1.

Taula 3.6 Coeficients de correlació entre les variables metereològiques considerades per la zona de LC. Veure apartat 2.3.2.3.

	P	H	10i	M10i	30i	M30i	Pi	MPi	V	Vm
P	1	-0.304	0.437	0.044	0.523	0.081	0.163	0.044	0.480	-0.244
H		1	0.028	0.773	0.054	0.774	0.607	0.840	-0.171	-0.066
10i			1	0.539	0.966	0.532	0.545	0.424	0.072	-0.504
M10i				1	0.562	0.995	0.910	0.953	-0.019	-0.224
30i					1	0.575	0.605	0.467	0.179	-0.488
M30i						1	0.920	0.962	-0.002	-0.222
Pi							1	0.848	-0.038	-0.224
MPi								1	0.030	-0.154
V									1	0.122
Vm										1

Taula 3.7 Coeficients de correlació entre les variables metereològiques considerades per la zona de RP. Veure apartat 2.3.2.3.

	P	H	30i	M30i	10i	M10i	MPi	Pi
P	1	-0.113	0.831	0.691	0.629	0.640	0.247	0.020
H		1	-0.349	-0.035	-0.381	-0.098	0.179	-0.209
30i			1	0.813	0.809	0.779	0.312	0.291
M30i				1	0.619	0.925	0.426	0.163
10i					1	0.753	0.231	0.633
M10i						1	0.437	0.386
MPi							1	-0.004
Pi								1

Els resultats dels models es troben a la taula 3.8

Taula 3.8 Models de regressió múltiple testats amb el mètode pas a pas. Es mostra la equació del model corresponent als tres fluxos de cada zona. amb el seus nivells de significació (p) i el coeficient de determinació (R^2). A la última columna hi ha els coeficients de determinació parcials que són els que té el model quan s'ha incorporat només la variable o variables que s'indica al costat del valor entre parèntesi.

Zona	Variable	Model	p	R^2	R^2 parcials
La Castanya	Trascol (Tc)	$Tc = -1.825 + 0.775 \cdot P + 0.086 \cdot 10i$	<0.0001	0.996	0.993 (P)
	Escolament cortical (Ec)	$Ec = -1.147 + 0.042 \cdot P - 0.019 \cdot 10i$	<0.0001	0.933	0.885 (P)
	Intercepció (Ic)	$Ic = 1.972 + 0.183 \cdot P - 0.067 \cdot 10i$	<0.0001	0.926	0.895 (P)
Riera de Sant Pere	Trascol (Tr)	$Tr = -1.76 + 0.675 \cdot P + 1.92 \cdot M30i + 0.040 \cdot H - 1.32 \cdot MPi$	<0.0001	0.985	0.970 (P) 0.977 (P. M30i)
	Escolament cortical (Er)	$Er = 0.205 + 0.056 \cdot P - 0.008 \cdot H$	<0.0001	0.895	0.858 (P)
	Intercepció (Ir)	$Ir = 2.086 + 0.269 \cdot P - 1.433 \cdot M30i$	<0.0001	0.814	0.764 (P)

El significat de les sigles que identifiquen les variables es troba a la taula 3.1.

Per a tots els models el volum de precipitació (P) és el que presenta el coeficient de determinació més alt i que l'augment que aporten les altres variables és força petit. La velocitat del vent no ha resultat significativa en cap cas. En el cas de les intensitats de pluja, a LC la intensitat màxima del període en 10 min (10i) i a RP la mitjana de les intensitats màximes en 30 min (M30i), han estat incorporades als models del trascol (amb coeficient positiu) i als de intercepció (amb coeficient negatiu i una aportació a R^2 d'aproximadament un 4-5%). La mitjana d'hores anteriors sense pluja (H) ha resultat significativa només a RP però amb coeficient negatiu en l'escolament cortical i positiu pel trascol.

Els models plantejats al punt anterior han mostrat que el volum de precipitació és la variable que explica la major part de les variacions setmanals del volum de trascol, escolament cortical i intercepció. Així doncs, a la figura 3.3 es representa la recta de regressió entre els mm de pluja de cada setmana amb els del trascol, l'escolament cortical i la intercepció respectivament per les zones de LC i de RP. Per totes 6 rectes el nivell de significació fou de 0.0001. Els coeficients de determinació (R^2) ens indiquen quin percentatge de la varianza del trascol, l'escolament cortical, i la intercepció es poden explicar a causa de la seva relació amb la pluja, que en aquest cas és entre un 89 i un 99%. S'observa que el pendent de la regressió entre la pluja i el trascol és superior a LC que a RP i en el cas de la intercepció i l'escolament cortical passa el contrari. En tots els casos les diferències entre els pendents són significatives: pel cas del trascol i l'escolament cortical amb una probabilitat $dep < 0.0001$ i per la intercepció, de $p = 0.02$. És a dir, una setmana amb un valor igual de precipitació produeix major quantitat de trascol a LC que a RP però menor escolament cortical i intercepció. A partir d'aquestes rectes de regressió es va poder calcular el valor de pluja necessària per que comenci a produir-se escolament cortical o trascol, que serà aquell valor de x (de mm de pluja) que farà que el valor de y sigui 0. Matemàticament, és la intersecció de la recta en l'eix d'abcisses. Substituint doncs la y per 0 i calculant la x a les regressions respectives obtenim que a LC cal que en una setmana hi hagi 1.99 mm de pluja per començar a recollir trascol i 7.32 mm de pluja per detectar escolament cortical. A RP 0.87 mm de pluja en el cas del trascol i 3.25 mm de pluja en el de l'escolament cortical. Tantmateix cal aclarir que en el cas del trascol de RP el terme independent no resulta

significativament diferent de 0 ($p=0,1247$). En canvi sí van resultar significatius els termes independents de les altres regressions amb la precipitació: pel cas del trascol de LC ($p=0.0001$) per l'escolament cortical de LC ($p=0.0002$) i pel de RP ($p=0.0490$). A les dades de l'apèndix 3.1 a i b, on es detallen el fluxos hidrològics per cada setmana de mostreig, es constata com efectivament s'han recollit majors volums de precipitació que no produïren trascol, ni escolament cortical a LC que a RP.

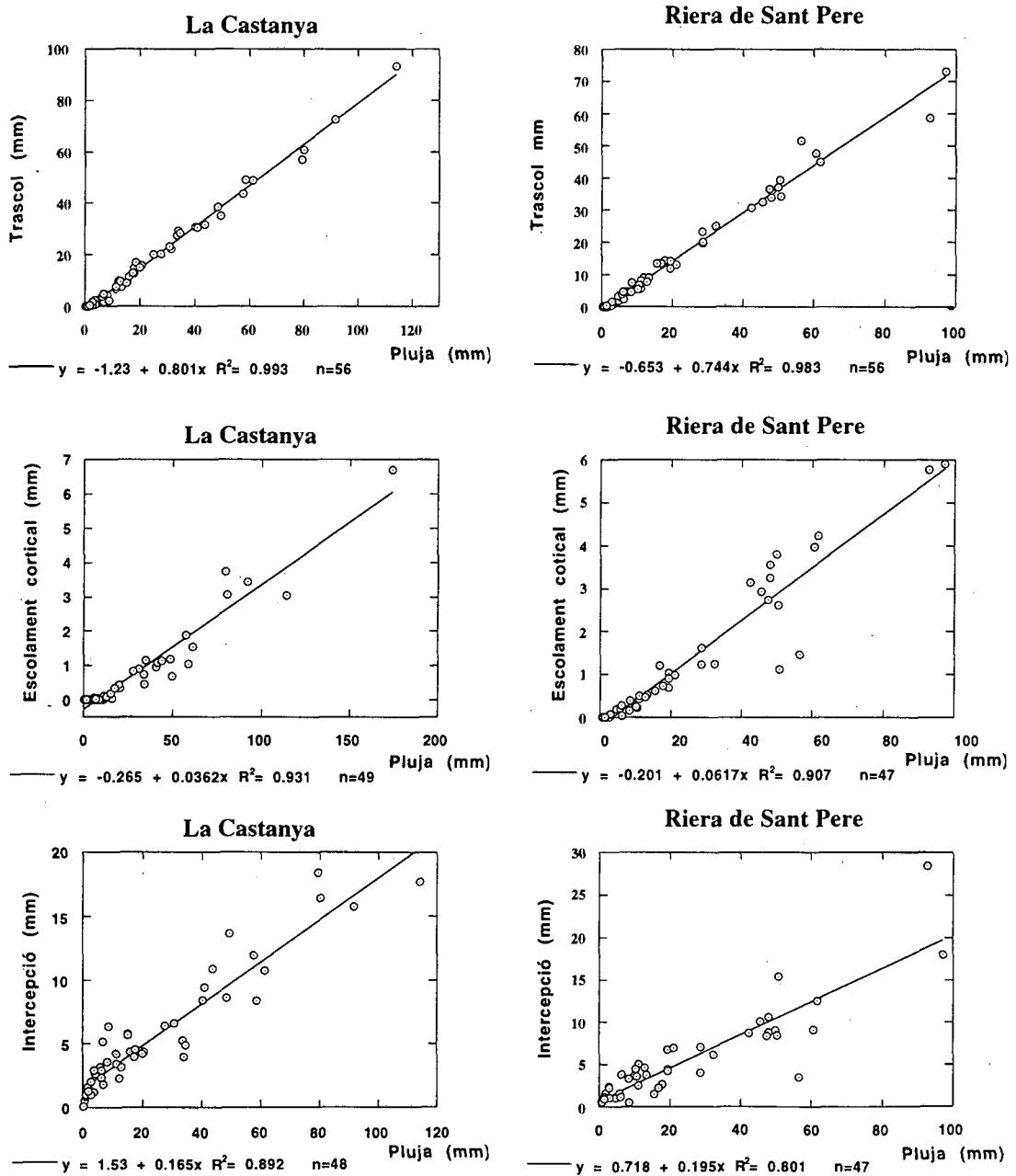


Figura 3.3 Regressions entre els volum setmanal de precipitació i de trascol, escolament cortical i intercepció respectivament. Les dades són del període del 23/1/95 al 25/6/96, en el cas del trascol i la precipitació i del 5/6/95 al 25/6/96 en el cas de l'escolament cortical i la intercepció

També s'ha representat la relació que hi ha entre la quantitat de pluja recollida i el percentatge de la mateixa que es reparteix en forma de trascol, escolament cortical i intercepció (figura 3.4). Els núvols de punts s'ajusten a funcions logarítmiques, excepte per la intercepció de RP que s'ajusta a una exponencial.

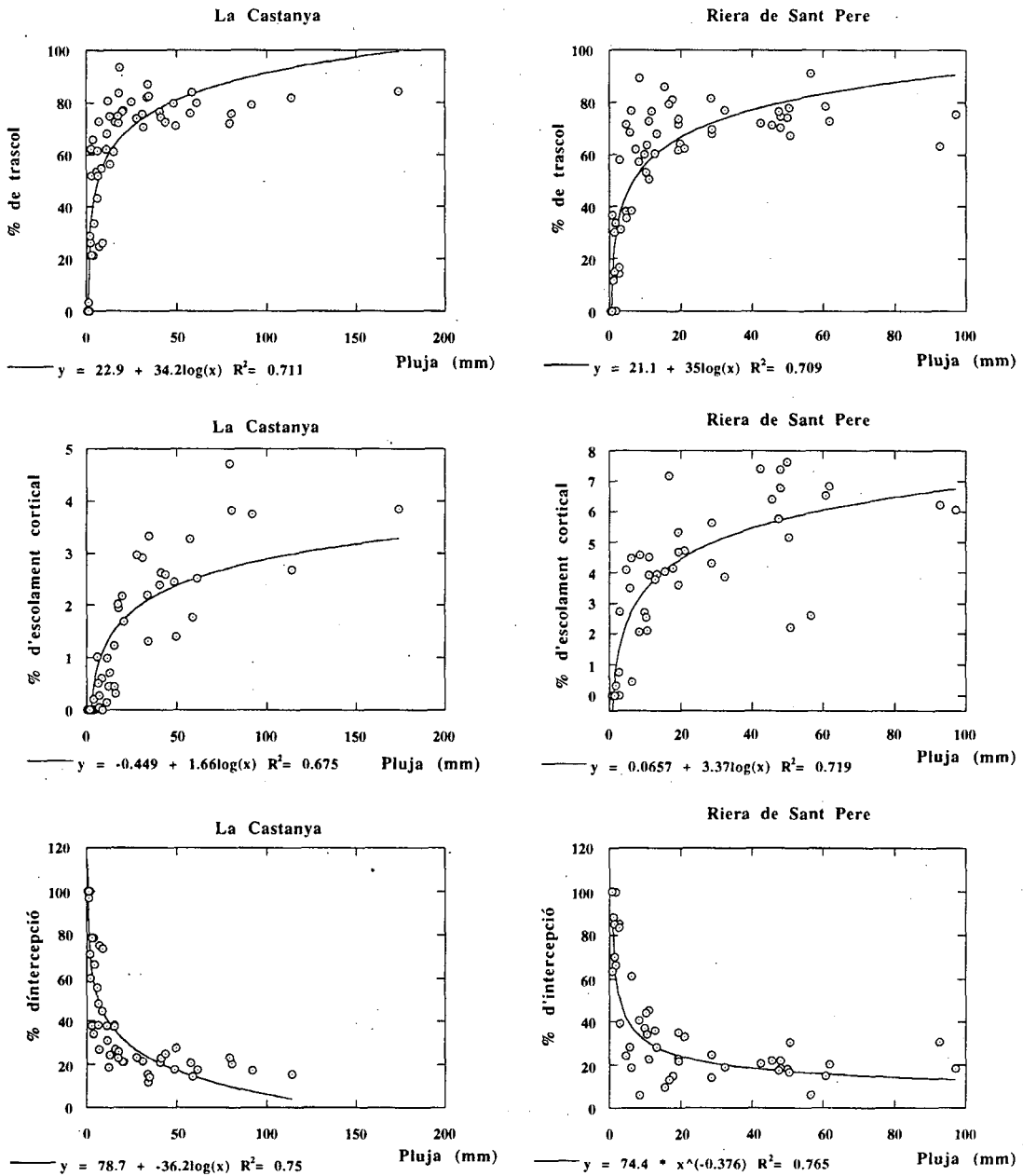


Figura 3.4 Relació per les dues zones entre el volum de precipitació setmanal i el percentatge de trascol, escolament cortical o intercepció. Les dades són del període del 23/1/95 al 25/6/96, en el cas del trascol i la precipitació (n=56 a LC i a RP) i del 5/6/95 al 25/6/96 en el cas de l'escolament cortical i la intercepció (n= 49 per l'escolament cortical de LC, n =48 per la intercepció de LC i n=47 per l'escolament cortical i la intercepció de RP).

En tot cas, el que indiquen les gràfiques és que el percentatge de trascol i escolament cortical augmenta ràpidament en augmentar la pluja fins a arribar a un valor on s'estabilitza. Aquest valor és aproximadament un 80% pel trascol i entre 3-6% per l'escolament cortical. Cal remarcar però que la dispersió del punts respecte a aquest patró és força menor en el trascol que en l'escolament cortical, en especial a LC. La intercepció fa, com és lògic, el procés contrari: primer disminueix ràpidament i després queda estabilitzada a un valor del 20 % de la precipitació aproximadament.

3.3.3 Variabilitat espacial del trascol.

Les dades analitzades en aquest apartat es refereixen al període entre el 23/1/95 i el 25/6/96 incloent només les setmanes en que es va enregistrar trascol. A LC tampoc s'ha inclòs la setmana del 11/12/95 al 18/12/95 per sobreiximent dels col.lectors (apartat 3.2.2) Tant a LC com a RP s'han considerat un total de 52 setmanes

3.3.3.1 Magnitud de la variabilitat espacial del trascol.

En aquesta apartat volem valorar la variabilitat espacial que el flux de trascol presenta en arribar al sòl del bosc. Per fer-ho ens basem en les dades presentades a l'apèndix 3.5 a i b, on es llista el volum mig de trascol setmanal recollit per cada col.lector, el error estàndard amb el seu coeficient de variació i el percentatge de precipitació que representa aquest volum de trascol (calculat com el quocient entre el trascol mig i la precipitació mitja corresponent a les mateixes setmanes, multiplicat per 100) per ambdues zones. Es llista també les mateixes dades considerant només aquelles setmanes amb pluges superiors a 40 mm i considerant només les setmanes amb pluges inferiors a 5 mm. A la taula 3.9 s'indiquen les mitjanes dels 32 col.lectors de totes aquestes variables.

El percentatge de precipitació que cada col.lector recull en forma de trascol és un indicador de la influència de la capçada en la intercepció, o de la concentració de l'aigua de precipitació en aquell punt del sòl del bosc. Si és menor que 100 indica una intercepció de la capçada que serà major quant menor sigui aquest valor. Si és igual a 100 indica un efecte nul de la capçada, i

si és major que 100 (únicament 2 casos a cada zona) indica que hi ha processos de circulació d'aigua dins de la capçada que provoquen una concentració del flux d'aigua en aquell punt.

Taula 3.9 Mitjanes del volum mitjà de trascol (en L m⁻²) de l'E.E., del C.V i del % de trascol recollit per cada col.lector de considerant totes les setmanes (51 a LC i 49 a RP) per una banda, únicament les setmanes amb precipitació <5 L m⁻² (11 a LC i 12 a RP) per altra banda i finalment considerant les setmanes amb precipitació >40 L. Els valors de cada col.lector estan a l'apèndix 3.5.

		La Castanya	Riera de Sant Pere
Totes les setmanes	Mitjana	18.7	16.8
	E.E	2.98	2.55
	C.V.	16.0	15.1
	% de Trascol	74.7	70.8
Setmanes amb precipitacions <5 mm	Mitjana	1.12	0.97
	E.E	0.26	0.31
	C.V.	24.9	32.8
	% de Trascol	43.0	36.3
Setmanes amb precipitacion >40 mm	Mitjana	49.5	42.7
	E.E	6.90	3.81
	C.V.	14.0	9.03
	% de Trascol	71.9	74.0

A la taula 3.9 observem que la mitjana dels C.V. és superior en les setmanes amb volums de precipitació < 5mm, que quan es consideren totes les setmanes, i la mitjana de C.V. obtinguda quan es consideren només les setmanes amb precipitació superior a 40 mm és lleugerament inferior a d'obtinguda considerant totes les precipitacions.

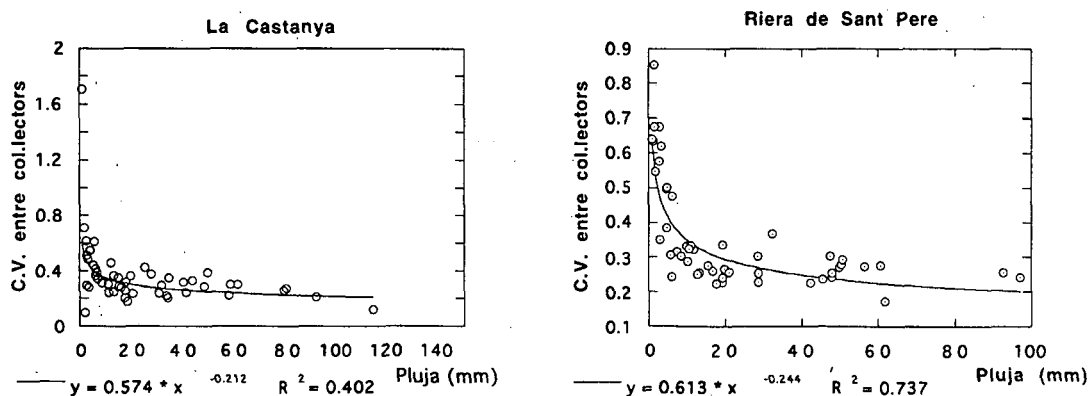


Figura 3.5. Relació entre els C.V. (coeficients de variació) dels volums setmanals recollits per cada col.lector i el volum de precipitació setmanal. Les dades són per al període dels 23/1/95 al 25/6/96.

La figura 3.5 mostra una relació negativa i exponencial entre el C.V. de les mesures de volum dels col·lectors de trascol per cada setmana i el volum de precipitació de la mateixa. És a dir, quant major és el volum de precipitació d'una setmana, les diferències en el volum recollit pels diferents punts de mostreig del trascol és menor.

Es va realitzar un anàlisi de la varianza per cada zona de dos factors anidats per testar les possibles diferències en el volum de trascol recollit entre col·lectors i entre parcel·les. El factor principal era la parcel·la amb 4 nivells i l'anidat dins de parcel·la, el col·lector amb 8 nivells. La variable dependent fou els mm de trascol recollits per cada col·lector a cada setmana (prèvia transformació de les dades com $\log(1 + \text{mm de trascol})$). El test va resultar no significatiu pel factor parcel·la, que podem concloure que no hi ha diferències significatives entre parcel·les en el volum de trascol recollit per cada col·lector.

El model amb el col·lector analitzat com un factor anidat no permet testar les diferències del volum de cada col·lector dintre de parcel·la. Per poder testar aquestes diferències es van fer una anàlisi de la varianza per cada parcel·la considerant el col·lector com un factor amb 8 nivells. El test va resultar no significatiu excepte per la parcel·la 1 de LC on si hi havia diferències significatives ($p=0.0199$) El resultat dels test a posteriori (test de Fischer) ha indicat que el col·lector 7 recollia significativament menys aigua que tots els altres menys el 3. I que el col·lector número 3 recollia significativament menys aigua que el 4.

Per evitar el soroll provocat per l'alta variabilitat temporal en l'anàlisi de les diferències de volum de trascol recollit entre parcel·les, s'han analitzat les diferències entre parcel·les prenent com a rèpliques el valor mitjà de trascol recollit per setmana per cada un dels 8 col·lectors de cada parcel·la i com a factor la parcel·la. S'han fet també el mateix anàlisi considerant com variable dependent el coeficient de variació del volum de trascol recollit entre setmanes i el percentatge de pluja corresponent a cada col·lector (apèndix 3.5). En tots els casos s'ha considerat per cada variable els valors corresponents a totes les setmanes, a les setmanes amb precipitació major de 40 mm i a les setmanes amb precipitació de menys de 5 mm. Cap d'aquests anàlisis va presentar diferències significatives. Els anàlisis a posteriori comparant les parcel·les dos a

dos no indiquen cap diferència significativa per la zona de LC. En el cas de RP entre la parcel.la 3 i 4 es van trobar diferències significatives tant en les mitjanes de tot el període ($p=0.0195$, parcel.la 3= 14.78 mm i parcel.la 4= 19.273), com les mitjanes de les pluges majors de 40 mm ($p= 0.0222$, parcel.la 3= 37.95mm i parcel.la 4= 48.89mm) i com en el percentatge de precipitació recollit per totes les setmanes, ($p=0.0222$, parcel.la 3= 67% i parcel.la 4=84 %). En el cas de les mitjanes de trascol per pluges de menys de 5 mm, les diferències es van trobar entre la parcel.la 3 i la 1 ($p=0.0467$, parcel.la 3= 0.705 mm) , entre la 3 i la 2 ($p=0.0476$ i parcel.la 2=1.034) i entre la 3 i la 4 ($p=0.0134$ i parcel.la 4=1.124). Així doncs en general aquests anàlisis indiquen que en el cas de LC no hi ha cap diferència entre parcel.les i que en el cas de RP les diferències no són significatives de forma global però si que indiquen que el trascol que arriba a la parcel.la 3 és inferior a la resta, especialment al que arriba a la parcel.la 4.

3.3.3.2 Variabilitat espacial del trascol al llarg del temps

El percentatge de precipitació recollit per cada col.lector de trascol (apèndix 3.5) és una mesura global de tot el període, però no dona informació de si el comportament és manté constant per les diferents setmanes al llarg del període. A l'apèndix 3.5 hi ha informació que sembla indicar que efectivament és així: el percentatge de pluja recollit per cada col.lector de trascol manté una ordenació dels col.lectors de major a menor independentment de considerars totes les setmanes, les de precipitació inferior a 5 mm o superior a 40 mm. Per valorar estadísticament aquest comportament es va calcular una recta de regressió per cada col.lector prenent com variable dependent el volum de trascol setmanal (mm) recollit per cada col.lector particular i la precipitació setmanal (mm) com variable independent. A la taula 3.10 hi ha els resultats obtinguts per les dues zones. Els alts valors dels coeficients de determinació indiquen que la variabilitat en el temps del volum de trascol recollit per cada col.lector depèn en un alt percentatge de la quantitat de precipitació de cada setmana. Els pendents presenten valors molt similars als percentatges de trascol respecte a precipitació detallats a l'apèndix 3.5. Els alts nivells de significació dels models indiquen que la relació entre la pluja caiguda a cada setmana i els mm de trascol recollits per cada col.lector individual és robusta entre les diferents setmanes. Per tant sembla que l'estructura de la capçada de sobre el

col.lector de trascol , que suposem que no canvia substancialment al llarg dels 18 mesos aquí considerats, podria determinar el % de precipitació que recull el col.lectors. Al següent apartat describim les diferents aproximacions assajades per determinar si alguna de les característiques de la capçada mesurada per nosaltres explicava aquesta relació.

3.3.3.3 Influència de l'estructura de la capçada en la variabilitat espacial del trascol

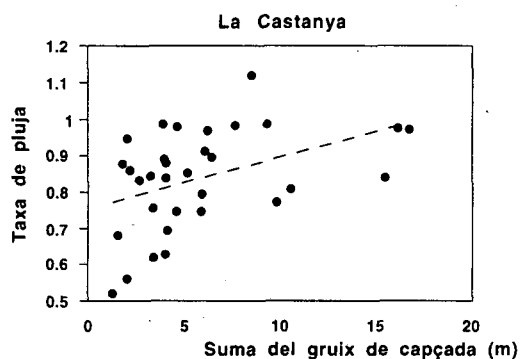
Per tal de poder relacionar el volum de trascol recollit per cada col.lector amb característiques estructurals de l'arbre sota del que es trobava, es va determinar per cada un dels col.lectors sota de quants i quins arbres es trobava i quin d'aquestes era l'arbre més proper. Es va obtenir que a LC del 32 col.lectors: 4 estaven sota de la intersecció de la capçada de 3 arbres, 7 sota la de 2 arbres i només els afectava un arbre als 21 restants. En el cas de RP: 1 sota la intersecció de la capçada de 3 arbres, 9 sota de la de 2 i amb la influència d'un arbre els 22 restants.

Es van testar diversos models de regressió múltiple pel mètode pas a pas prenent com variables dependents: la mitjana dels mm de trascol recollits per cada col.lector considerant totes les setmanes, les de precipitacions majors de 40 mm i menors de 5 mm. Com variable representativa de la relació entre el trascol recollit per cada col.lector respecte del volum de precipitació, vam emprar el pendent de les regressions de la taula 3.10., que anomenarem taxa de trascol. Es van relacionar cadascuna d'aquestes variables dependents amb les variables independents següents: el diàmetre normal (\emptyset) de l'arbre sota el que es troben, la distància al tronc del col.lector (d), la posició a la capçada (p) (el quocient entre la distància al tronc del col.lector i la longitud de la capçada), l'alçada de l'arbre (al), i el gruix de capçada (g). (veure apèndix 3.4 a i b). Per totes les variables dependents es va testar un model considerant només els col.lectors que estan sota un sol arbre i una altra utilitzant tots els col.lectors. En aquest darrer cas, en cas de col.lectors que estan sota de dos o tres arbres, el valor emprat fou la mitjana ($m\emptyset$, md, mp i mal), excepte pel gruix de capçada que va ser el sumatori (sg).

Taula 3.10 Resultats de les rectes de regressió entre el volum setmanal de trascol recollit per cada un dels col·lectors (y) i el volum de precipitació corresponent a cada setmana (x). a és el terme independent de la equació de la recta, b el seu pendent, R² és el coeficient de determinació del model i p el grau de significació.

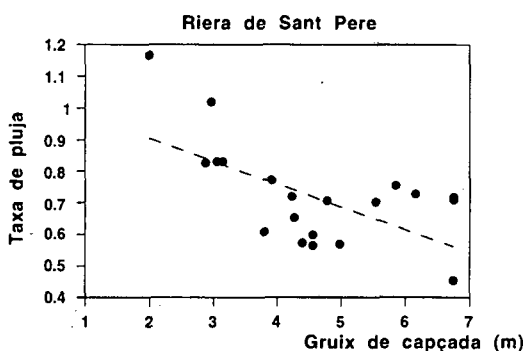
Parcel·la	Col·lector	La Castanya				Riera de Sant Pere			
		a	b	p	R ²	a	b	p	R ²
1	1	-1.148	0.839	<0.0001	0.990	-1.29	0.830	< 0.0001	0.974
	2	0.055	0.879	<0.0001	0.992	-0.05	0.572	< 0.0001	0.953
	3	-0.778	0.628	<0.0001	0.934	-0.673	0.597	< 0.0001	0.939
	4	-0.594	1.120	<0.0001	0.976	0.083	0.641	< 0.0001	0.956
	5	-0.943	0.838	<0.0001	0.986	-0.444	0.565	< 0.0001	0.952
	6	1.283	0.859	<0.0001	0.888	0.469	0.564	< 0.0001	0.932
	7	-1.869	0.521	<0.0001	0.837	-1.198	1.166	< 0.0001	0.919
	8	-0.887	0.988	<0.0001	0.986	0.436	0.826	< 0.0001	0.885
2	1	-0.534	0.561	<0.0001	0.900	-1.013	0.831	< 0.0001	0.877
	2	-1.171	0.620	<0.0001	0.914	-0.192	0.720	< 0.0001	0.975
	3	-3.312	0.947	<0.0001	0.973	-1.537	0.727	< 0.0001	0.944
	4	-0.932	0.773	<0.0001	0.964	0.818	0.758	< 0.0001	0.988
	5	-2.643	0.747	<0.0001	0.986	-0.847	0.697	< 0.0001	0.945
	6	-2.203	0.755	<0.0001	0.954	-0.988	0.771	< 0.0001	0.936
	7	-2.442	0.896	<0.0001	0.983	-0.771	0.702	< 0.0001	0.956
	8	-1.418	0.681	<0.0001	0.978	-1.334	0.764	< 0.0001	0.946
3	1	-1.267	0.877	<0.0001	0.988	-2.257	0.717	< 0.0001	0.899
	2	-0.677	0.794	<0.0001	0.985	0.789	0.708	< 0.0001	0.927
	3	-1.411	0.832	<0.0001	0.978	0.462	0.711	< 0.0001	0.892
	4	-0.752	0.694	<0.0001	0.983	0.821	0.569	< 0.0001	0.919
	5	-1.679	0.747	<0.0001	0.962	-0.153	0.452	< 0.0001	0.940
	6	0.541	0.890	<0.0001	0.812	-1.858	0.690	< 0.0001	0.976
	7	-3.141	0.912	<0.0001	0.979	-0.846	0.772	< 0.0001	0.844
	8	-1.580	0.808	<0.0001	0.987	-1.894	0.707	< 0.0001	0.931
4	1	-0.385	0.969	<0.0001	0.969	-0.303	1.088	< 0.0001	0.961
	2	-2.474	0.853	<0.0001	0.853	-0.742	1.020	< 0.0001	0.947
	3	-0.297	0.972	<0.0001	0.972	-0.222	0.653	< 0.0001	0.980
	4	-0.386	0.844	<0.0001	0.844	0.109	0.824	< 0.0001	0.962
	5	-2.064	0.988	<0.0001	0.988	-1.241	0.755	< 0.0001	0.960
	6	-0.992	0.984	<0.0001	0.984	-1.001	0.937	< 0.0001	0.986
	7	-1.160	0.980	<0.0001	0.980	-0.617	0.860	< 0.0001	0.969
	8	-2.211	0.977	<0.0001	0.977	0.362	0.609	< 0.0001	0.935

De tots els models testats, a LC només va resultar significatiu el que mostrava una significació positiva entre la taxa de trascol de cada col·lector durant totes les setmanes amb el sumatori del gruix de capçada ($p=0.0122$, figura 3.6). A RP només va resultar significativa la relació negativa entre la taxa de trascol dels col·lectors que estan sota un sol arbre i el gruix de capçada d'aquest arbre ($p=0.036$, figura 3.7).



$$y = 0.754 + 0.0142x \quad R^2 = 0.178$$

Figura 3.6. Relació entre la taxa de trascol i la suma dels gruixos de capçada dels arbres que estan per sobre del col·lector a LC.



$$y = 1.05 - 0.0722x \quad R^2 = 0.367$$

Figura 3.7 Relació entre la taxa de trascol i el gruix de capçada de l'arbre més proper a RP.

En qualsevol cas encara que s'hagi trobat aquesta significació del pendent de la recta, la gran dispersió dels punts a les gràfiques (R^2 baixos) indica que la variabilitat espacial del trascol queda molt poc explicada amb aquestes variables estructurals. Cal remarcar que la relació entre la taxa de trascol i el gruix de capçada és negativa a LC i en canvi a RP passa el contrari, a més gruix de capçada taxa de pluja major.

La quantitat d'espai sense fulles que hi ha sobre cada col·lector de trascol, podria influenciar el % de trascol recollit per col·lector. Aquest espai està representat pel coeficient de pluja lliure (apartat 3.2.2.1). Per testar aquesta possible influència es van relacionar les mateixes quatre variables dependents citades al paràgraf anterior amb els diversos coeficients de pluja lliure (apèndix 2.1) com variables independents. En cap cas vam obtenir regressions significatives.

3.3.4 Variabilitat espacial del volum d'escolament cortical

Les dades utilitzades en aquest apartat estan mostrejades en el període des del 6/6/95 al 25/6/96. Es consideren només les setmanes en que es va recollir volum d'escolament cortical a algun arbre: 34 per la zona de La Castanya i 39 per Riera de Sant Pere.

3.3.4.1 Magnitud de la variabilitat espacial de l'escolament cortical

Les diferències en el volum mitjà de l'escolament recollit pels diferents arbres són força grans (taula 3.11 a i b). Per valorar aquestes diferències es va fer una anàlisi de la variança amb l'arbre com a factor a testar i com a rèpliques, el volum d'escolament cortical recollit per cada arbre en les diferents setmanes. A ambdues zones es van detectar diferències significatives ($p=0.0001$). A les taules 3.11 hi ha detallats l'agrupament entre els arbres segons les diferències dos a dos testades *a posteriori*. Per il·lustrar aquestes diferències s'ha representat el volum total recollit per cada arbre durant tot el període d'estudi (figura 3.8).

Taula 3.11 a. Mitjana dels litres recollits setmanalment a LC per cada un dels arbres en que hi ha un col·lector d'escolament cortical, junt amb l'error estàndard (E.E.) i el coeficient de variació associat. A la resta de columnes es mostren els valors de diferents variables estructurals d'aquests arbres.

Mitjana (L)	E.E	C.V. %	Ø normal (cm)	Super. normal (cm ²)	Àrea capçada (m ²)	Alçada arbre (m)	Gruix capçada (m)
14,7 d	2,45	16,7	11,1	96,8	5,94	7,46	2,13
6,70 c	1,91	28,5	17,3	235,0	6,47	8,94	5,59
0,34 a	0,067	19,6	21,6	366,4	13,1	9,67	5,59
2,22 ab	0,65	29,1	16,3	208,7	11,5	6,89	3,95
2,28 ab	0,92	40,5	10,8	91,6	5,20	5,83	2,16
0,61 a	0,36	58,8	14,1	156,1	4,96	4,26	2,13
1,06 ab	0,23	21,4	7,2	40,7	3,30	3,42	1,06
4,37 c	1,28	29,4	19,7	304,8	12,91	8,60	4,10
7,43 c	1,68	22,6	23,4	430,0	21,24	8,45	4,85
2,49 d	0,43	17,2	8,5	56,7	5,64	6,07	2,30

a, b, c i d. Indiquen els grups d'arbres entre els quals hi ha diferències significatives en el volum de trascol

Taula 3.11 b. Idem per RP.

Mitjana (L)	E.E	C.V. %	∅ normal (cm)	Superf. normal (cm ²)	Àrea capçada (m ²)	Alçada arbre (m)	Gruix capçada (m)
35.3 f	5.93	16.7	20.6	333.6	19.3	11.3	6.75
12.7 de	2.22	28.5	15	176.7	9.16	11.2	8.21
8.21 c	1.69	19.6	13.6	146.34	11.9	9.60	6.40
2.95 ab	0.72	29.1	14.0	84.1	7.15	6.33	4.78
3.24 b	0.71	40.5	15.8	194.8	4.36	6.17	3.92
0.89 a	0.19	58.8	6.4	32.7	6.05	4.50	3.50
7.28 cd	1.44	21.4	13.8	149.0	9.99	6.84	2.97
11.31 e	1.80	29.4	9.7	74.0	5.65	7.74	4.98
1.76 ab	0.57	22.6	15.6	189.8	9.50	8.55	6.78
2.38 ab	0.58	17.2	21.5	361.4	12.7	14.4	10.4

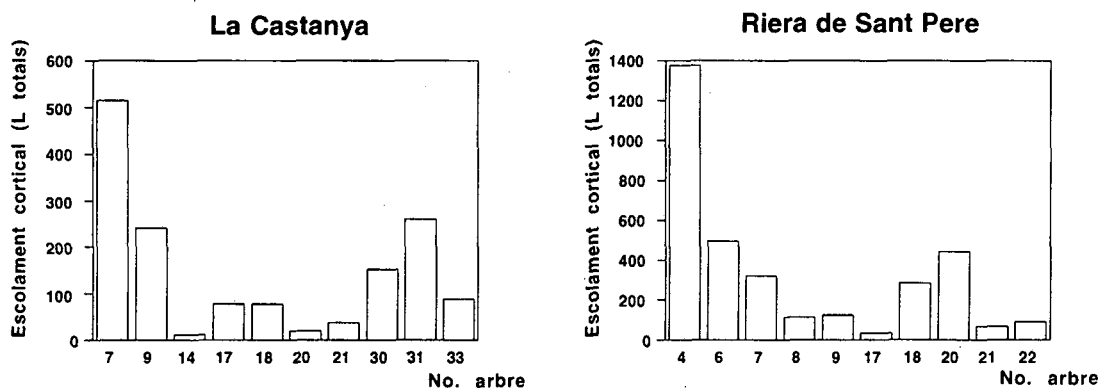


Figura 3.8. Litres totals d'escolament cortical recollits per cada arbre durant tot el període. Dades del 6/6/95 al 25/6/96. (els números dels arbres no tenen cap significat especial)

3.3.4.2 Variabilitat espacial de l'escolament cortical al llarg del temps

De manera anàloga al fet amb els col·lectors de trascol, s'ha calculat la regressió per cada arbre entre el volum setmanal recollit per cada col·lector com a variable dependent i els mm de precipitació registrats en aquella setmana com variable independent. A la taula 3.12 es mostren els resultats d'aquestes rectes. Els pendents de les rectes són molt diferents entre ells, amb un rang de més d'un ordre de magnitud i tenen un alt nivell de significació. Això mostra que la diferència entre el volum d'escolament cortical total recollit pels diferents arbres

és conseqüència de la diferència acumulada de totes les setmanes. És a dir, les diferències entre els arbres es repeteixen al llarg de les setmanes mostrejades independentment del volum de precipitació de la setmana. Els coeficients de determinació indiquen que el percentatge de la varianza explicat amb el model de regressió varia força entre arbres. En aquesta variació entre arbre hi ha una certa tendència a que arbres on el valor del pendent és més alt (i per tant en els que es recull més escolament cortical) tinguin el coeficient de determinació més alt i a la inversa els arbres que recullen menys.

Taula 3.12. Resultats de les rectes de regressió entre el volum setmanal d'escolament cortical recollit per cada un dels col·lectors (y) i el volum de precipitació corresponent a cada setmana (x). a és el terme independent de la equació de la recta, b el seu pendent, R^2 és el coeficient de determinació del model i p el grau de significació del mateix.

Arbre	La Castanya				Arbre	Riera de S. Pere			
	a	b	p	R^2		a	b	p	R^2
7	-2,79	0,538	<0,0001	0,957	4	-3,41	1,386	<0,0001	0,843
9	-3,81	0,289	<0,0001	0,759	6	-1,98	0,526	<0,0001	0,884
14	-0,03	0,010	<0,0001	0,816	7	-3,33	0,413	<0,0001	0,919
17	-1,49	0,102	0,0003	0,850	8	-1,04	0,143	<0,0001	0,615
18	-3,45	0,132	<0,0001	0,718	9	-0,63	0,138	<0,0001	0,582
20	-0,94	0,045	<0,0001	0,565	17	-0,14	0,037	<0,0001	0,594
21	-0,04	0,032	<0,0001	0,587	18	-1,37	0,310	<0,0001	0,715
30	-3,89	0,254	<0,0001	0,848	20	0,05	0,404	<0,0001	0,770
31	-2,95	0,319	<0,0001	0,807	21	-0,89	0,095	<0,0001	0,421
33	-0,07	0,066	<0,0001	0,803	22	-0,82	0,108	<0,0001	0,535

3.3.4.3 Influència de l'estructura de l'arbre en la variabilitat espacial del volum d'escolament cortical recollit per cadascun d'ells.

Per valorar la relació entre el volum d'escolament cortical recollit per un arbre i el tamany o estructura del mateix, hem calculat una sèrie de regressions entre el volum d'escolament cortical mitjà recollit setmanalment per cada arbre i algunes de les característiques estructurals dels arbres corresponents (taula 3.11). Com aquestes variables estructurals dels arbres tenen un alt grau de

correlació entre elles, hem emprat únicament la superfície de tronc a 1.30 m i el gruix de capçada (que són les que presenten menys correlació), així com el quocient entre el gruix de capçada i el diàmetre normal (apartat 3.1.3) . Cap de les rectes de regressió va resultar significativa. A la figura 3.9 es mostra la regressió entre la mitjana de litres d'escolament cortical recollits per cada arbre i la superfície del seu tronc a 1.30m com a exemple de les regressions assajades, on es pot comprovar la gran dispersió dels punts.

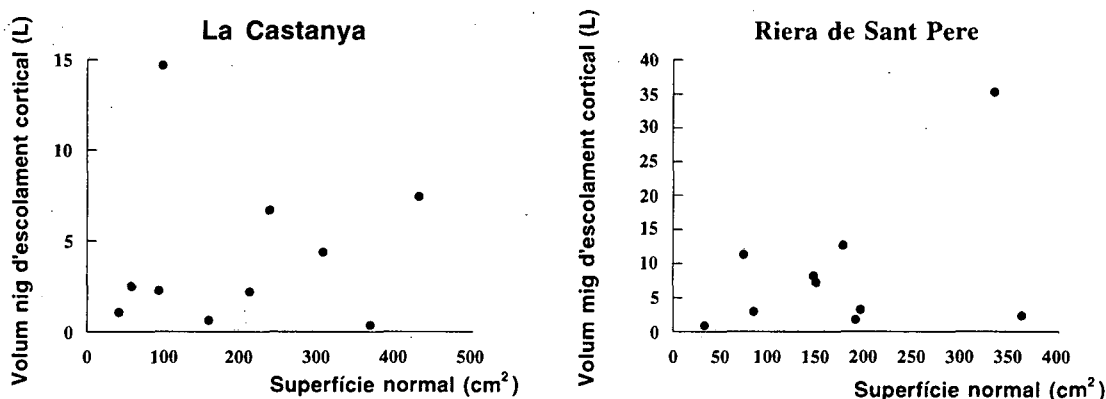


Figura 3.9. Relació entre el volum mig (L) recollit per cada col·lector durant el període del 6/6/95 al 25/6/96 i la superfície (cm²) normal del tronc (superfície a 1.30 m).

3.3.5 Comparació entre la variabilitat espacial i temporal del trascol i de l'escolament cortical.

Tal com hem vist la variabilitat del trascol i de l'escolament cortical està influenciada per la seva distribució espacial i també per la variabilitat temporal entre les setmanes de mostreig. Per valorar la importància relativa de la variabilitat espacial i temporal en les mesures de trascol i d'escolament cortical, s'ha calculat l'error típic del valor mig del trascol i de l'escolament cortical per tot el període calculat de dues maneres: 1) a partir de la mitjana d'aquests fluxos per cada setmana obtenint un error associat a la variabilitat temporal i 2) a partir de la mitjana per tot el període de cada un dels 32 col·lectors de trascol o dels 10 col·lectors d'escolament cortical, i s'obté aleshores un error associat a la variabilitat espacial. Per comparar aquests valors cal però considerar tres problemes: 1) els valors corresponents a l'escolament cortical temporal els hem obtingut en mm de pluja i en canvi els corresponents a variabilitat espacial estan

en litres 2) sabem que en la distribució de les dades setmanals de volum de trascol i escolament cortical la variabilitat augmenta quan augmenta el valor mig, 3) com s'ha comentat als apartats corresponents, per diversos motius algunes setmanes no s'han inclòs en els càlculs de variabilitat espacial i si en els de la variabilitat temporal. Per evitar tots aquests problemes i estandaritzar els errors per poder comparar la magnitud de les diferents variabilitats, hem calculat en cada cas el coeficient de variació que aquest error estàndard significa respecte a la mitjana corresponent. A la taula 3.13 hi ha representats els valors d'aquests coeficient de variació Els resultats mostren que pel trascol la variabilitat associada a les diferències temporals és clarament superior a l'associat a la variabilitat espacial. En canvi en l'escolament cortical la variabilitat espacial és superior a la temporal.

Taula 3.13. Coeficients de variació (en %) de les variacions en volum setmanal (C.V. temporal) o bé a partir de les variacions entre els volums mitjans de cada col·lector per tot el període (C.V. espacial), tant en el cas del trascol com de l'escolament cortical i per ambdues zones. El C.V. s'ha calculat com el quocient entre error estndard i la mitjana, i no amb la desviació estàndard.

Zona	Trascol		Escolament cortical	
	C.V. espacial	C.V. temporal	C.V. espacial	C.V. temporal
La Castanya	3.5	16.7	32.8	24.6
n	32	56	10	49
Riera de Sant Pere	3.6	15.4	37.6	18.4
n	32	56	10	47

Compren dades des del 23/1/95 al 25/6/96 pel trascol i del 6/6/95 al 25/6/96 per l'escolament cortical.

3.4. Discussió

3.4.1 Valors global de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció.

El període en el que s'ha dut a terme l'estudi, en especial el que transcorre entre el 6/6/95 i el 25/6/96, ha enregistrat uns nivells de precipitació clarament superiors als habituals de la zona. Així la precipitació de LC (1275.2 mm) ha estat un 45.7 % superior a la mitjana dels anys 1983-1994, que fou de $(875.5 \pm 195 \text{ mm}, X \pm D.E.)$ de pluja a l'any (Àvila, 1996, Àvila and Rodrigo, 1996).

El volum anual de precipitació és major a LC que a RP (taula 3.2). Com el número de setmanes amb precipitació ha estat similar per les dues zones, es podia suposar que el volum de pluja setmanal a LC seria superior que el de RP. Aquesta diferència però, no ha resultat significativa. El test de signes ha indicat per altra banda que no hi ha un número significatiu de setmanes amb major pluja a LC que a RP. Tanmateix, la precipitació recollida en setmanes amb precipitacions superiors a 50 mm contribueix en un 53% a LC i un 42% a RP al total del volum de precipitació (taula 3.6). Per tant, el major volum de precipitació anual trobat a LC respecte a RP, no sembla basar-se únicament en una diferència repetida clarament a totes les setmanes, sinó en l'aport que han representat les setmanes amb alts volums de precipitació, les quals s'han donat més freqüentment a LC. (veure també figura 3.1).

El volum de trascol anual també ha resultat superior a LC que a RP, si bé en comparar els valors setmanals no hem trobat diferències significatives entre les dues zones. En canvi si que hi ha una certa tendència significativa a que abundin més les setmanes en que es recull més aigua en forma de trascol a LC que a RP.

El volum global d'intercepció resulta igualment superior a LC. En aquest cas però això resulta de diferències significatives dels valors setmanals; demostrades per l'anàlisi de la variança i pel test de signes (apartat 3.3.1.2). Tal com passava per la pluja, el major volum anual de trascol i intercepció a LC depèn en gran part de la contribució de les setmanes amb precipitacions superiors a 50 litres. Però a més pel trascol i, encara més per la intercepció, la

diferència també s'explica en part pel fet que en la resta de setmanes també els valors enregistrats han estat superiors per LC. En el cas de l'escolament cortical tots els resultats (aports anuals, la mitjana per setmana i el número de setmanes amb volum superior) mostren que el volum d'escolament cortical és clarament superior RP. Només en aquelles setmanes en que el volum de precipitació resulta clarament superior a LC, l'escolament cortical és similar a ambdues zones.

Si el volum de precipitació resulta molt diferent entre dos boscos, la interpretació de les diferències en la partició de la pluja resulta difícil, ja que la quantitat de trascol, intercepció i escolament cortical d'un període depèn del volum de pluja incident del mateix període (Gash, 1979, Jackson, 1975, Johnson, 1990, Parker, 1983, Tang, 1996). En conseqüència, per analitzar la importància de cada un d'aquests fluxos, és més útil el percentatge de trascol, escolament cortical i intercepció que el volum. Per tant la comparació entre els resultats dels dos alzinars aquí estudiats i els d'altres boscos que trobem a la literatura es basa en aquests percentatges.

3.4.2 Percentatge de precipitació retingut per intercepció de la capçada.

El percentatge d'intercepció disminueix en ambdues zones segons augmenta el volum de precipitació fins a establir-se en les setmanes amb precipitacions al voltant de 5 i 10 mm en el cas de RP i de 10 i 20 mm en el cas de LC a partir d (taula 3.5 i figura 3.4), si els volums són superiors. Això indica que a LC la quantitat de pluja necessària perquè la intercepció tingui el seu valor màxim és superior que a RP. De fet, hem trobat també que la quantitat de pluja mínima setmanal necessària per registrar trascol i escolament cortical és superior a LC que a RP: 1.99 mm pel trascol i 7.32 per l'escolament cortical a LC i 0.87 mm pel trascol i 3,25 mm per l'escolament cortical a RP. Això permet afirmar que la capacitat de magatzematge d'aigua en la capçada del bosc de LC és superior a la de RP. Tantmateix aquesta afirmació contrasta amb el fet que hem trobat una intercepció anual superior a RP (22.6%) que a LC (21.8%). Per explicar-ho cal analitzar el percentatge de intercepció corresponent a les setmanes amb precipitacions superiors a 50 mm (taula 3.5). Aquest percentatge

resulta menor a LC que a RP, i a més a LC disminueix respecte la classe anterior cosa que no passa a RP. Si recalculem (a partir de la taula 3.5) el percentatge d'intercepció per a tot el període sense considerar les setmanes amb precipitació superior a 50 mm, obtenim per LC un 26.6% d'intercepció de la pluja i per RP un 24.2%. Per tant, si el percentatge d'intercepció anual de LC és inferior al de RP, tot i el fet que el volum d'emmagatzematge de les capçades sigui clarament superior a LC, es deu a que: 1) la menor intercepció, tant a LC com a RP, es dona a les setmanes de precipitació superior a 50 mm i 2) aquestes setmanes tenen una aportació molt major en el volum anual dels fluxos de LC que a RP. Aquest resulta implica que boscos similars amb un mateix volum de precipitació anual, tindran intercepció diferent segons el règim de precipitacions al que estan sotmesos.

En general, es pot afirmar que en el clima mediterrani, el règim de pluges sol tenir un cert aspecte torrencial. Així un percentatge important del volum de la precipitació anual de les zones mediterrànies pertany a uns pocs episodis de pluja molt abundant (centrats sobretot en la tardor i la primavera). Això implicaria que a la zona mediterrània es podria trobar menys intercepció que en altres zones on les pluges no solen tenir aquest caràcter torrencial, sempre i quan les característiques de la vegetació siguin comparables.

Els percentatges d'intercepció d'aquests dos alzinars són similars als trobats per altres autors a boscos de caducifolis (taula 3.15) i més baixos que els citats per boscos de coníferes (Nihlgard, 1970, Parker, 1983,). Si els comparem amb altres estudis d'alzinar (taula 3.14) resulten inferiors als trobats per Rapp (1968, 1978) i Ettehard et al (1973) en alzinars de França, però força superiors als trobats per Bellot et al (1988) a alzinars de la Serra de Prades. Diversos estudis realitzats sota cobertes vegetals diferents estableixen una certa relació positiva entre el percentatge d'intercepció i la seva àrea basal (Fredman and Prager, 1986 per boscos de coníferes i de caducifolis, Crowther, 1987 en boscos de Malasia, Carleton and Kavanagh, 1990, per boscos de coníferes). En el cas d'alzinars, Rapp (1968, 1978) troba la major intercepció en boscos amb alts valors d'àrea basal. Tanmateix, Bellot (1988) troba valors d'intercepció petits tot i presentar una àrea basal força gran i Rodà (1983) en una parcel·la de la mateixa zona de LC, d'àrea basal similar a la del nostre estudi, troba major

intercepció que nosaltres (taula 3.14). En el cas de Rodà (1983) la intercepció de la taula 3.14 està sobrevalorada ja que s'ha calculat sense considerar l'escolament cortical. Tantmateix, caldria un percentatge d'escolament cortical del 10% per compensar la diferència entre el percentatge d'intercepció del treball de Rodà (1983) i el nostre estudi. Com l'estructura de la parcel·la de Rodà (1983) és similar (Ferrés, 1984) a les de LC i RP, no sembla probable que l'escolament cortical tingués valors tant alts, i per tant el percentatge d'escolament només podria explicar una part de la diferència entre els valors d'intercepció dels dos estudis. Per altra banda, tal com hem discutit abans, sembla que la presència d'episodis amb pluges de molt volum impliquen una menor intercepció que molts episodis de volum més moderat. Rodà (1983), va recollir 10 mostres (que es feien quinzenalment) de pluges superiors a 50 mm en un període total de 30 mesos i la precipitació anual mitjana de tot el període fou de 857 mm/any. En canvi, en el nostre estudi (taula 3.5) es van enregistrar 8 mostres (que en aquest cas són setmanals) majors de 50 mm en un any i la precipitació anual fou superior (taula 3.2). Aquesta menor incidència de precipitacions grans en el cas de Rodà (1983) justificaria part d'aquesta major intercepció en un alzinar d'àrea basal similar a les nostres parcel·les de LC.

Taula 3.14. Resum de la importància dels fluxos hidrològics en diferents estudis fets en alzinars.

Precipitació (mm any ⁻¹)	% de Trascol	% d'Escolament cortical	% d'Intercepció	Autor	Àrea basal m ² ha ⁻¹
1485.7	68.0	0.4	31.6	Rapp and Romane, 1968	38.8
1275.7	72.3		27.7*	Rapp and Romane, 1968	39.1
857	65.9		34.1*	Rodà, 1983	26.6
	65.2	4.5	31.3	Ettehad et al, 1973	
1275.2	75.5	2.7	21.8	Aquest treball, LC	26.5
1048.16	72.1	5.3	22.6	Aquest treball, RP	22.3
570	74.9	14.0	10.9	Bellot, 1988	28.6**

*la intercepció s'ha calculat com precipitació menys trascol sense considerar l'escolament cortical.

**el valor del'àrea basal a 50 cm del bosc d'aquest estudi és de 38.12 m²/ha (Lledó, 1990) que, aplicant una transformació basada en la correlació entre la superfície del tronc a 50 cm i a 1.30 cm, equival a 28,6 m² ha⁻¹ d'àrea basal a 1.30m que és el valor reflectit a la taula.

Bellot (1988), a l'alzinar de Prades troba que el 15 % dels episodis de pluja (en aquest cas es mostrejava després de cada pluja) representen el 59 % de la precipitació total. En el nostre estudi, a LC calen el 22% dels episodis (que són setmanals) per recollir la mateixa proporció de la precipitació total. Per tant, el baix percentatge d'intercepció de l'estudi de Bellot (1988) es pot explicar en part per un règim de pluges més torrencial que en el nostre estudi. Tot i això, les diferències en la intercepció entre els estudis de Bellot (1988) i els nostres són massa grans i cal buscar altres interpretacions. Segurament també té un paper rellevant el fet que el bosc descrit per Bellot (1988) presenti una estructura semiarbustiva i amb una gran densitat de peus/ha que faciliten el degoteig en forma de trascol i sobretot d'escolament cortical i que, per tant, disminueix la intercepció exercida per la capçada.

Resumint a mode de conclusió, en alzinars amb una estructura arborea ben constituïda, el percentatge d'intercepció en un determinat període depèn per una banda de la distribució volumètrica de les precipitacions, però també de l'àrea basal del bosc, de manera que a més àrea basal major intercepció i viceversa. Aquest fet pot tenir una implicació en les pràctiques de gestió ja que una reducció de l'àrea basal, per exemple per una aclarida, implicaria un major aport de l'aigua de la precipitació al sòl del bosc (Crockford and Richardson, 1990, Stogsdill et al, 1989).

3.4.3 Importància relativa del fluxos de trascol i escolament cortical en la partició de la precipitació.

En la partició de la precipitació, el trascol és quantitativament (i en termes de percentatge) molt superior a l'escolament cortical. Els valors globals d'escolament cortical difereixen clarament entre els dos boscos aquí estudiats. Així, el percentatge d'escolament cortical trobat a LC (2.7%) és la meitat del trobat a la zona de RP.

Els percentatges de trascol i d'escolament cortical depenen del volum de precipitació setmanal (figura 3.4). Setmanes amb precipitacions petites tenen percentatges de trascol i escolament cortical petits, que augmenten en augmentar la quantitat de precipitació (figura 3.4). Aquest patró també es pot

comprovar comparant els percentatges de trascol i escolament cortical respecte de les classes de precipitació (taula 3.5) A LC, els percentatges de trascol s'estabilitzen en pluges de 10-20 mm i a la zona de RP en les pluges de 5-10 mm. El percentatge d'escolament cortical també augmenta amb l'augment de la precipitació però, mentre que a LC no sembla establitzar-se pràcticament fins a les pluges més grans, a RP sembla assolir el seu màxim en les pluges entre 20 i 50 mm, disminuint lleugerament a la classe de precipitacions majors de 50 mm (taula 3.5). La importància relativa de l'escolament cortical respecte al trascol, tot i ser petita per tots els casos, és major a RP que a LC i augmenta segons augmenta el volum de precipitació.

Els percentatges de trascol trobats a aquests dos alzinars presenten valors intermitjos respecte els trobats a la bibliografia, en el rang de valors descrits tant per boscos caducifolis com de coníferes (taula 3.15). Respecte a estudis fets en alzinars, el percentatge de trascol trobat al nostre estudi per la zona de LC és el més alt descrit per aquest tipus de bosc (veure taula 3.14) i el de RP només superat pels valors trobats per Bellot (1988), si bé la diferència entre LC, RP i el descrit per Bellot (1988) és realment petita. El percentatge d'escolament cortical de RP és similar al descrit per Ettehard et al (1973) i el de LC és força inferior. Els percentatges d'escolament cortical descrits per Bellot (1988) representen l'extrem superior i els de Rapp (1968) representarien els menors, ambdós molt allunyats del valors trobats per nosaltres.

Taula 3.15 Resum dels fluxos hidrològics estudiats en diferents tipus de bosc. Es detalla el volum de precipitació, així com els valors de percentatge de precipitació del trascal, de l'escolament cortical i de la intercepció.

Tipus de bosc	Precipitació (mm any ⁻¹)	% de Trascal	% d'Escolament cortical	% d'Intercepció	Autor	Observacions
Conífera	2644	65			Stevens 1987	plantació de 48 anys
	2644	59				plantació de 33 anys
	2644	40				plantació de 13 anys
	2644	40				plantació de 5 anys
Coníferes	857,8	72,2	0,9	26,9	Alvera, 1976	
Coníferes	5791	69	3	28	Johnson, 1990	mesures de 3 anys
Coníferes	1942,54	77,5	0,29	22,17	Loshali and Singh, 1992	
Coníferes		74,5	9,4	16,1	Tang, 1996	
Coníferes	1710,6	65,3	0,5	34,2	Viville, 1993	
Coníferes	1639	43	27	30	Ford and Deans, 1978	Total
		57	27	15		Hivern
Coníferes	1290,5	78,1	0,5	21,4	Taniguchi, 1996	
	1290,5	68,9	1,2	29,8		
Coníferes	4672	59,5	1,0	39,5	Freedman and Prager, 1986	A.B.= 37,6
	4602	69,4	0,2	30,4		A.B.= 28,4
	4613	67,1	1,0	31,9		A.B.= 34,8
	4613	66,8	0,7	32,5		A.B.= 45,4
Coníferes		70,1	2,3	27,6	Rapp and Ibrahim, 1978	A.B.= 33,9
						Pinus pinea
Coníferes		78,5			Rapp and Romane, 1968	A.B.= 24,6
						Pinus halepensis
Coníferes	950	57,7	3,4	28,9	Nihlgård	Picea
Coníferes	1066	71,7			Heinrichs and Mayer, 1977	Avet
Coníferes	1528	85,2			Henderson et al, 1977	

Taula 3.15. Continuació.

Tipus de bosc	Precipació (mm any ⁻¹)	% de Trascaol	% d'Escolament cortical	% d'Intercepció	Autor	Observacions
Coníferes	555,5	81,2	4,9	13,9	Eaton et al, 1973	
Coníferes	1105	79,1	3,3	17,6	Brinson et al, 1980	<i>Myssa-taxodium sp</i>
Coníferes	1301	88,0			Schlesinger, 1978	<i>Taxodium sp</i>
Coníferes, experiment d'aclarida	882	97,8			Stogsdill, 1989	A.B.= 7,8 .2 mesos després de l'aclarida a <i>Pinus taeda</i> (1) (1) A.B.= 12,6 (1) A.B.= 26,6 A.B.= 9,7 .1 any i dos mesos després de l'aclarida (2) (2) A.B.= 15,5 (2) A.B.= 29,7
Coníferes	372 332	90,5 80,7				
Coníferes	388,4	45,8	10,8	43,4	Aussenac et Naud, 1982	A.B.= 39,27 abans de l'aclarida, <i>Pseudotsuga menziessi</i>
Perennes de fulla ampla	388,4	61,8	7,9	30,3	Aussenac et Naud, 1982	A.B.= 19,85 després de l'aclarida
Bosc tropical	772,7	73,0			Denaeyer, 1966	<i>Prunus avium</i>
Bosc equatorial de galeria	304	92,2			Kellman 1990	
Pluvial equatorial	1084	76,0			Villecourt i Robse, 1978	
Pluvial equatorial	3915	88			Jordan et al, 1980	Sobre laterita
Pluvial equatorial	4123	85			Jordan et al, 1980	Sobre Podzol
Arbustos	230	69,7	3,1	27,2	Návar and Bryan	

Taula 3.15. Continuació

Tipus de bosc	Precipació (mm any ⁻¹)	% de Trascor	% d'Escolament cortical	% d'Intercepció	Autor	Observacions
Boscos de Malasia						
				27.6	Crowther, 1987	A.B.= 22.0
				18.9		A.B.= 25.4
				34.3		A.B.= 69.7
				26.9		A.B.= 37.9
				24.6		A.B.= 10.6
				32.5		A.B.= 53.8
Perenne	1984.25	80.53	0.12	19.46	Loshali and Sing, 1992	<i>Quercus floribunda</i> and <i>Q. leucotrichophora</i>
Perennes	38,67	70,0			Attwill, 1966	<i>Eucaliptus obliqua</i>
Perennes de fulla ampla	1726.5	64.9	20.3	14.8	Masukata et al 1990	
Semicaducifoli	1238.3	75.7			San Jose and Montes 1992	
	1228.3	81.8				
	1531.1	78.6	1.0	20.4		
	1345.6	77.4	1.1	14.7		
	1348.5		0.4			
Caducifoli	360	76.1			Mahendrapa and Kington 1982	
Caducifoli	274	85.8				
Caducifoli	317	95.6				
Caducifoli	291	83.5				
Caducifoli, faig	847	80.0	4.1	15.9	Neal et al, 1993	abans d'una tempesta
Caducifoli	324.4	66.2			Dohan, 1987	amb fulles
	73.5	56.6				amb fulles
	250.3	76.7				amb fulles
	107.9	79.8				sense fulles
	196.0	87.0				sense fulles
	4672	78.3	3.0	18.7		A.B.= 31.8

Taula 3.15. Continuació

Tipus de bosc	Precipitació (mm any ⁻¹)	% de Trascal	% d'Escolament		% d'Intercepció	Autor	Observacions
			cortical				
Caducifoli	4448	68,6	4,8	26,6	Freedman and Prager	A.B.= 27.4	
	4448	84,0	2,5	13,5		A.B.= 23.2	
	4448	73,2	3,3	23,5		A.B.= 18.1	
Caducifoli, faig	540	83,9	3,7	12,4	Neal et al, 1993	després d'una tempesta	
Caducifoli	554	67,2			Lemée, 1974	Fagus sylvatica	
	524	69,4				Fagus sylvatica	
	554	74,4				Fagus sylvatica	
Caducifolis	950	69,8	11,5	18,7	Nihlgård	Fagus sylvatica	
Caducifolis	1066	71,3	9,75	18,95	Heinrichs and Mayer, 1977	Fagus sylvatica	
Caducifolis	1080	73,7	9,75	18,95	Mayer and Ulrich, 1977	Fagus sylvatica	
Caducifolis	772,7	66,8			Denaeyer, 1966	Fagus sylvatica	
Caducifolis	772,7	47,4			Denaeyer, 1966	Carpinus sp	
Caducifoli	595,3	76,7	3,1	20,2	Szabó, 1979		
Caducifoli	1528	84,7			Henderson et al, 1977	Quercus prinus	
Caducifoli	1528	85,7			Henderson et al, 1977	Quercus carpa	

La divisió entre coníferes, caducifolis i altres tipus es fa respecte a l'arbre més abundant. A.B. és l'àrea basal en m²/ha.

Per altra banda, els valors d'escolament cortical clarament superiors a RP respecte a LC poden ser explicats per diversos factors que discutim a continuació:

1) Els tronc dels arbres de la zona de LC presenten una escorça més clivellada i una major presència d'epífits, el que implica que la quantitat d'aigua que pot absorbir el tronc és molt major.

2) Diversos autors han proposat que el volum d'escolament cortical recollit per un arbre depèn de l'estructura de les seves branques, de manera que espècies que presenten estructures de capçada amb branques més verticals i escorces més llises impliquen major quantitat d'escolament cortical (Molchanov, 1963, Návar, 1990, Parker, 1990, San Jose and Montes, 1992, Voight and Zwolinski 1964). Els arbres de la zona de RP presenten branques més verticals i troncs més llisos que a la zona de LC, que al ser un bosc més madur presenta branques en una posició més horitzontal Això implicaria un major flux d'escolament cortical a RP. Aquest raonament explicaria també que a l'alzinar de Prades descrit per Bellot (1988) amb arbres amb aspecte arbustiu, on la densitat de peus és molt alta i la verticalitat de les branques és per tant molt acusada, els valors d'escolament cortical siguin molt més grans (Olson, 1981, estableix una relació positiva entre la densitat de peus i l'escolament cortical). En canvi l'alzinar de Le Rouquet descrit per Rapp (1968) l'escolament cortical seria molt menor ja que el bosc és el més madur de tots els alzinars referits i això es pot relacionar amb branques molt més horitzontals. Per tant, l'augment de maduresa de l'alzinar (que es pot relacionar amb un augment d'àrea basal i una major horitzontalitat de les branques) implica una disminució de la importància relativa del flux d'escolament cortical respecte del trascol. Altres autors han descrit aquesta disminució de l'importància relativa de l'escolament cortical respecte al trascol amb l'augment de l'edat dels arbres (Johnson, 1990).

3) Alguns autors consideren que arbres amb fulles en posicions més verticals donarien més escolament cortical (Crockford, 1990a, Návar, 1993). Segons el descrit per Burriel et al (1993) les fulles d'alzina presenten una tendència a adoptar posicions més verticals quan estan exposades a una major insolació. Es pot pensar que les fulles de la zona de RP, en un vessant Sud, tinguessin una

major insolació i per tant una posició més vertical que a LC en un vessant Nord i això facilita la circulació de l'aigua com escolament cortical.

3.4.4 Variabilitat temporal dels fluxos de precipitació, trascol, escolament cortical i intercepció.

La variabilitat setmanal del volum de precipitació, de trascol, d'escolament cortical i d'intercepció d'ambdues zones ha resultat molt gran (veure taula 3.3), amb coeficients de variació gairebé sempre superiors a 1. A les dues zones la intercepció ha presentat el coeficient de variació més petit i l'escolament cortical el més alt. En general, els valors dels coeficients de variació, excepte per la intercepció, han estat menors a RP que a LC. En general doncs es pot afirmar que la variabilitat temporal és molt gran per tots els fluxos, sent una mica inferior pel cas de la intercepció.

Entre els diferents períodes estudiats (taula 3.3) no es troben diferències significatives entre les mitjanes d'un mateix flux i els seus coeficients de variació són pràcticament iguals. És a dir, el fet d'haver mostregat un període d'un any (del 6/6/95 al 25/6/96) o haver-ho fet sobre 16 mesos (cas del trascol i de la pluja a ambdues zones: del 23/1/95 al 25/6/96) o sobre 19 mesos (cas de la pluja de LC: del 3/11/94 al 25/6/96) no ha modificat significativament la mitjana ni substancialment el coeficient de variació. Això indicaria que la variabilitat d'aquests fluxos mesurada en aquest any no difereix de forma important de l'obtinguda allargant 4 o 7 mesos més el mostreig.

Com l'estudi s'ha dut a terme en una zona mediterrània, era esperable trobar un patró estacional que indiqués major precipitació a la primavera i a la tardor. No obstant els resultats obtinguts en la comparació entre quantitats de pluja recollits per estació no ho indiquen així (apartat 3.3.2.2 i també figures 3.1 i 3.2). Tal com hem comentat anteriorment, el nostre període d'estudi ha enregistrat un volum de precipitació extraordinàriament alt. Aquest fet podria justificar el no haver trobat un patró estacional en la distribució de la precipitació, ja que es podria considerar que ha plogut tot l'any. Tantmateix, si l'estudi s'hagués fet un any abans ens haguessin trobat en una situació de sequera en la que durant la primavera pràcticament no va ploure, i tampoc s'hagués pogut establir aquest patró estacional (Àvila, 1996, Peñuelas, Lloret i Siscart, 1995).

Per tant, treballs que pretenen estudiar la variabilitat estacional de la hidrologia d'una alzinar mediterrani, necessàriament han de considerar intervals de temps més grans, que abarquin diversos anys.

3.4.5 Variabilitat dels fluxos hidrològics en relació a les condicions meteorològiques

Els alts valors dels coeficients de determinació de les rectes de regressió de les gràfiques de la figura 3.3 indiquen que un percentatge molt alt de la variança setmanal dels volums de trascol, escolament cortical i intercepció s'explica únicament per la variació setmanal en el volum de precipitació. Diversos autors han mostrat també aquesta relació però en general eren mesures o bé diàries o inclús per episodis de pluja individualitzats (Kelliher et al, 1992, Mahendrappa and Kingston, 1982, Masukata et al, 1990, San Jose and Montes, 1992, Tang, 1996). Com nosaltres mostrejaven de forma setmanal, i per tant cada setmana inclou diferents episodis de pluja individualitzats (apèndix 3.1), no era evident que aquesta relació fos tant clara, ja que dues setmanes amb el mateix volum de precipitació inclouen un diferent número de pluges individuals i això podria representar intercepcions diferents entre setmanes d'un mateix volum de precipitació. Aquest alt nivell de significació ens permetria, en aquests dos alzinars, calcular de forma prou aproximada el volum de trascol, escolament cortical i intercepció, a partir del mostreig setmanal de la pluja, amb la simplificació metodològica que això suposaria. Aquesta aproximació seria millor per LC que per RP i pel trascol que per l'escolament cortical i la intercepció.

Per millorar aquesta aproximació es va intentar valorar la influència d'altres variables pròpies de la precipitació amb la construcció de models de regressió múltiple (taula.3.8) Les principals limitacions d'aquests models són el número de casos amb el que es contava (19 a LC i 27 a RP) i que els valors eren resum dels de tot l'episodi setmanal i no de pluges individualitzats. Aquesta limitada potència del test condiciona que només considerem rellevants aquelles variables que aportin un augment considerable en el coeficient de determinació o que apareguin de forma coherent en diverses equacions. Així, tots els models indiquen, que encara que es considerin altres variables, el volum de precipitació segueix essent la variable que explica la major part de la variabilitat de tots tres fluxos per ambdues zones (en major grau pel cas del

trascol) i que permet predir millor aquests valors. De manera que el percentatge de variabilitat explicat per la resta de variables és sempre molt petit.

De les variables calculades en referència a la intensitat de pluja incorporades al model (veure apartat 3.3.2.3) n'hi ha dos que presenten una relació significativament positiva amb el trascol i negativa amb la intercepció, són: la mitjana de les intensitats màximes en registrades en 30 min per cada una de les pluges de la setmana en el cas de RP i la intensitat màxima en 10 min registrada en una setmana a LC. La varianza explicada per aquestes variables és substancialment superior en la intercepció (sobre un 4% per LC i un 5 % per RP) que en el trascol (sobre un 0.3% per LC i un 0.7 % a RP). Com les diferents mesures de intensitat puntual (en períodes de 5, 10 o 30 min, taula 3.1), estaven altament correlacionades (taules 3.6 i 3.7) es pot generalitzar dient que pluges amb intensitats puntuals altes, impliquen una menor intercepció, degut a l'augment del volum de trascol.

Alguns treballs han mostrat que la velocitat del vent pot influenciar de forma inversa a la intercepció d'un bosc (Kelliher et al, 1992, Loshali and Singh, 1992), però en el nostre cas no s'ha detectat cap relació. A més de les limitacions estadístiques del mètode també podria influir el fet que aquestes mesures correponen a una clariana oberta al bosc, a uns 2 m de la superfície i poden no ser representatives de la velocitat del vent que realment hi ha a les capçades. Aquest fet s'incrementa per la gran rugositat que presenta la superfície d'aquests dos boscos a nivell de capçada que probablement augmenta la heterogeneïtat de la velocitat del vent sobre la seva superfície.

3.4.6 Magnitud de la variabilitat espacial del trascol i l'escolament cortical

La quantitat d'aigua recollida per cada un dels col·lectors de trascol depèn també de diferents processos relacionats amb la capçada sota de la que està. Aquests processos són: la intercepció de l'aigua de pluja per part de les fulles, branques i branquillons i la recirculació de l'aigua dintre de la capçada. Aquesta recirculació concentra l'aigua i crea punts de goteig, de manera que col·lectors situats sota aquests punts recullen més volum que els col·lectors de precipitació situats fora del bosc.

Els resultats de l'apartat 3.3.3.1 han mostrat que les diferències en la mitjana del volum de trascol recollit pels col·lectors considerants individualment o agrupats en parcel·les no han resultat significatives de forma global per cap de les dues zones. Això implica que: 1) els 8 col·lectors són rèpliques dintre de cada parcel·la i 2) les parcel·les són rèpliques per cada zona. Per tant, la mitjana de les 4 parcel·les és una bona estima del trascol setmanal per aquella zona. En qualsevol cas, l'estima serà sempre menys exacte en setmanes de volum de precipitació baix.

En contrast, les diferències entre el volum d'escolament cortical recollit pels diferents col·lectors han resultat significatives a ambdues zones. Aquest fet ens indica, per una banda, que la variabilitat en l'escolament cortical es molt més gran i, que el número de col·lectors emprat no resulta suficient per estimar tota aquesta variabilitat.

3.4.7 Relació entre volum de precipitació i la variabilitat espacial del trascol.

En el present estudi la variabilitat espacial entre els col·lectors de trascol disminueix de forma exponencial segons augmenta el volum de precipitació (veure figura 3.5), coincidint amb els resultats d'altres autors (Loustau et al, 1992, Viville et al, 1993). És a dir, en les pluges petites (veure taula 3.9) la diferència entre els col·lectors és molt gran ja que l'aigua que trascola depèn de la intercepció exercida per la capçada, la qual és major en pluges de poc volum, i diferències en termes absoluts donen diferències grans eb ternes relatius. Conseqüentment, zones amb precipitacions molt freqüents però de poc volum presentarán un patró d'arribada d'aigua al sòl del bosc amb unes diferències espacials molt més marcades que a les zones on les pluges siguin menys freqüents però de gran volum. Així, a LC, amb més setmanes de volum de precipitació grans que a RP, hi ha menor variabilitat espacial en el trascol que a RP (taula 3.3). Si bé Ford and Deans, 1978, descriuen que la distribució d'arrels fines era paral·lela al patró espacial del trascol, gairebé cap altra estudi ha determinat la importància funcional que pugui tenir el fet de rebre major quantitat d'aigua en forma de trascol en una zona del sòl del bosc.

3.4.8 Variabilitat temporal de la distribució espacial del trascol i l'escolament cortical

Els resultats respectivament de les rectes de regressió entre el volum de pluja i el trascol o l'escolament cortical per col·lector (taules 3.10 i 3.12) ens indiquen dues coses. Per una banda, l'alta correlació indica que la proporció de trascol respecte la precipitació (indicada pel pendent de les rectes) es manté molt semblant entre les diferents setmanes de mostreig. Aquesta proporció depèn de característiques que depenen de l'estructura de la capçada i que es mantenen constants al llarg de tot el període. Per l'altra banda, l'alt coeficient de determinació ens mostra que la major part de la variabilitat setmanal del trascol per a cada col·lector s'explica per la variabilitat del volum de precipitació (veure apartat anterior).

En el cas dels col·lectors d'escolament cortical els coeficients de determinació són en general menors i els més baixos corresponen a aquells arbres que recullen menys volum d'escolament cortical. Inclús, en setmanes amb precipitacions força grans, alguns arbres recullen volums d'escolament cortical molt petits o iguals a 0, el que explicaria aquest menor ajust entre les dades.

Així, l'aigua que un col·lector de trascol o escolament cortical individual recull durant una setmana concreta depèn, per una banda de la seva posició sota de la capçada (o de l'estructura de l'arbre on es troba pel cas de l'escolament cortical) i de la quantitat de precipitació que ha arribat a la capçada durant la setmana de mostreig. La importància d'un o altre factor en termes d'aigua total recollida per cada col·lector dependrà de la quantitat de pluja: a major precipitació setmanal, menor importància tindrà la posició i major el volum de precipitació, i viceversa.

3.4.9 Relació entre variables estructurals del bosc i distribució espacial del trascol i de l'escolament cortical

Des dels primers estudis sobre hidrologia de boscos s'ha relacionat la distribució espacial dels fluxos de trascol i escolament cortical amb diverses característiques de capçada amb resultats sovint poc generalitzables. Així pel trascol s'ha descrit una relació entre la quantitat d'aigua recollida per cada

col.lector i la distància al tronc més proper sota del que es troba el col.lector: Ford and Deans (1978) troben major quantitat prop del tronc i entre capçades i Carleton and Kavanagh (1990) troben menor quantitat de trascol prop del tronc respecte a zones intermèdies i perifèriques de la capçada, Johnson (1990) en diversos boscos d'Escòcia estableix una relació diferent segons el bosc, Prebble and Stirk (1980) troba major trascol prop del tronc i Loustau et al (1992) en boscos de pins, estableix que el volum recollit pel col.lector no depen de la seva distància al tronc. Johnson (1990) descriu una relació inversa del volum de trascol amb la densitat de la capçada sobre dels col.lectors i amb l'edat del arbre

En el present treball s'ha relacionat també el trascol amb característiques pròpies de la capçada sota de la qual estaven els col.lectors o de l'arbre al que pertany aquesta capçada. Una dificultat evident per analitzar els resultats és el fet que bastants col.lectors no estàn sota d'una sola capçada i no resulta clar com estimar les variables estructurals en aquests casos. Tal i com s'ha explicat als apartats 3.3.3.3 i 3.3.4.3., únicament es va trobar una certa relació entre la taxa de trascol recollida per cada col.lector i el sumatori de gruix de capçada del arbres sota el que es troba a LC, i amb el gruix de capçada de l'arbre més proper a RP (figures 3.6 i 3.7). Tantmateix, aquests resultats són poc concluent des del punt de vista estadístic ja que els coeficients de determinació i nivells de significació dels pendents són molt baixos. Però a més la seva interpretació funcional resulta molt confusa. Per exemple a LC no és significativa la relació entre taxa de trascol i el gruix de capçada de l'arbre més proper (pero si el sumatori del gruix considerant tots els arbres) i a RP passa la situació contrària. A més en el cas de LC a major gruix de capçada major trascol però en el cas de RP passa el contrari.

Com a conclusió es pot dir que realment existeix un patró espacial en la distribució de l'aigua de trascol que arriba al sòl del bosc, el qual és molt robust en quant a la seva repetitivitat en el temps. Sí bé aquest patró ve determinat per l'efecte de la capçada, cap de les característiques mesurades en aquest treball (distància al tronc, posició relativa en la capçada, diàmetre normal, gruix de capçada i coeficient de precipitació lliure) permet explicar aquest patró de forma clara. El fet que els dos boscos tinguin un pendent acusat, especialment el de LC, i que les seves capçades estiguin fortament entrellaçades i en contacte,

podria determinar que els camins de recirculació de l'aigua dintre de la capçada depenguin més d'aquestes dues circumstàncies que no de característiques pròpies dels arbres individuals o de la porció de capçada que es troba verticalment sobre del col·lector. Cal considerar també que la coberta d'aquests boscos és molt irregular, amb un rang d'alçades força ampli (veure capítol 1), el que podria comportar que la precipitació no sigui homogènea a tot el bosc, en especial en episodis en que la pluja incideixi oblíquament.

A la bibliografia s'ha establert que el volum d'escolament cortical és major en arbres: 1) amb escorça llisa i sense irregularitats (Molchanov, 1963, Parker, 1983, Bouten and Stirk, 1980, San Jose and Montes, 1992, Voight and Zwolinski, 1964) 2) amb branques de disposició vertical (Crockford and Richardson, 1990a, Ford and Deans, 1978, Molchanov, 1963, Návar, 1990, Parker, 1983, San Jose and Montes, 1992), 3) amb l'orientació vertical de les fulles (Crockford and Richardson, 1990a, Návar, 1993) 4) amb capçades altes i emergents (Parker 1983) i 5) amb el seu tamany, en general expressat com el diàmetre dels arbres (Bellot (1988) troba en alzinars que augmenta sempre l'escolament cortical amb l'augment del diàmetre de l'arbre, Crockford and Richardson (1990) per eucaliptus, San Jose and Montes (1992) explica com augmenta amb el tamany però en classes grans disminueix coincidint amb Johnson (1990) que diu que arbres de més edat tenen menor escolament cortical).

En el nostre treball, l'escolament cortical també manté un patró espacial de forma robusta en el temps i, a més, les diferències del volum recollit entre arbres són molt majors que pel trascol (figura 3.8). Tantmateix aquest volum resulta totalment independent del tamany de l'arbre, (veure apartat, 3.3.4.3 i figura 3.9). Probablement, la forma de la capçada explicaria millor el volum recollit per cada arbre. L'efecte de l'estructura resulta difícil de valorar, de fet, la relació entre el quocient del gruix de capçada i el diàmetre normal (com estima de la verticalitat de les branques) i el volum d'escolament cortical recollit ha resultat també no significativa. En ambdues zones, però especialment a LC, hi havia molt arbres poc verticals i sovint amb irregularitats a diferent nivells del tronc i de les branques, independentment del tamany de l'arbre. En observacions de camp hem vist com aquestes irregularitats feien desviar el flux

d'aigua que baixava pel tronc o la branca i aquesta aigua no arribava fins a l'alçada que estava situat el nostre col·lector d'escolament cortical, sinó que anava a parar al sòl. Aquesta aigua passava aleshores a ser considerada com a trascol però com eren punts molt concrets difícilment podien coincidir amb un col·lector de trascol en un mostreig a l'atzar. El nostre resultat contrasta amb el descrit per Bellot (1988) a l'azinar de Prades, on va establir una relació directament proporcional entre el tamany de l'arbre i l'escolament cortical. De fet, ens hem basat en aquesta relació per escollir els arbres on mostrejar l'escolament cortical de manera que fossin representatius de l'estructura de tamany del bosc del bosc (apartat 3.2.3). En l'azinar estudiat per Bellot (1988) hi ha una densitat molt alta de peus, que determina que aquests arbres tinguin tots una estructura i forma similar, la qual tendeix a facilitar la circulació de la precipitació en forma d'escolament cortical. En aquest context, un arbre més gran tindrà una forma similar però amb major capçada que li permetrà recircular més escolament cortical. En canvi, en situacions com la dels boscos del nostre estudi, la forma dels arbres no és igual per tots, i aquest fet té més importància que el tamany de l'arbre.

3.4.10 Comparació entre la variabilitat espacial i temporal del trascol i l'escolament cortical

En calcular els fluxos globals de tot el període o la mitjana setmanal del trascol i l'escolament cortical, tenim dues fonts d'error. Per una banda l'associat a la distribució espacial d'aquests fluxos, és a dir, quin error implica col·locar ael nombres de col·lectors triats i en la posicions determinades en què els hem col·locat. Aquest error està associat al càlcul de la mitjana per cada episodi i que prenem com a valor descriptiu de la setmana. Per l'altra banda, l'error associat a les variacions temporals entre les diferents setmanes, és a dir, quin error implica haver considerat aquestes setmanes. Aquest error vindrà associat a la variabilitat de les mesures setmanals del volum recollit per un col·lector durant el període. La mitjana del volum de trascol per tot el període basar en els valors de cada un dels 32 col·lectors té, doncs, ambdues fonts d'error: per una banda l'associat a la variabilitat espacial, i per altre l'associat a la variabilitat temporal. Evidentment, sempre que augmentem el nombre d'episodis o de col·lectors disminuirà un dels dos errors, i per tant, l'error global. Tanmateix, si tenim un

error temporal alt, perquè hem considerat molts col·lectors però poques setmanes, en augmentar el nombre de col·lectors baixarà menys l'error global que si augmentem el nombre de setmanes de mostreig. En canvi, si tenim pocs col·lectors i moltes setmanes de mostreig, l'error disminuirà més ràpidament si augmentem el nombre de col·lectors.

En el nostre estudi, hem trobat que la variabilitat espacial entre els col·lectors de trascol és inferior a la variabilitat temporal entre el trascol setmanal, i que en l'escolament cortical ocorre la situació contrària (taula 3.13) És a dir, en el cas del trascol, el fet que els col·lectors estiguessin en determinades posicions i no en altres ha influït menys en l'estima de la quantitat setmanal de trascol que el fet que hagi plogut més o menys, és a dir, de la variabilitat temporal. En canvi en el cas de l'escolament cortical el volum recollit en forma d'escolament cortical depenia més dels arbres on estaven situats els col·lectors que no de la diferència en les setmanes de pluja. Això coincideix amb el comentat en paràgrafs anteriors, on hem trobat en que no hi havien diferències significatives en el recollit entre els diversos col·lectors de trascol i si entre els d'escolament cortical.

Per tant, des del punt de vista del disseny de l'experiment, un augment en el nombre d'episodis disminuirà més l'error en la estima del trascol que un augment del nombre de col·lectors. En canvi, un augment en el nombre de col·lectors d'escolament cortical disminuiria de forma més eficient l'error global, que no un augment del nombre de setmanes de mostreig.

Capítol 4
Determinació del tamany de mostra
en l'estima del volum de trascol

4 Determinació del tamany de mostra en l'estima del volum de trascol

4.1 Introducció

La quantitat de precipitació que efectivament arriba al sòl en forma de trascol i escolament cortical resulta fonamental per entendre els fluxos hidrològics d'un bosc. L'escolament cortical, en general, resulta poc important en volum total respecte al trascol en la major part de boscos (taula 3.15) i també en els alzinars del nostre treball (taula 3.2). Per aixó, una bona estimació del valor del trascol es fonamental en els estudis d'hidrologia forestal, en especial aquells que estan interessats en: 1) dades anuals que permeten descriure el comportament general dels fluxos hidrològics per l'ecosistema analitzat, i 2) variacions temporals d'aquests fluxos relacionats amb característiques de la mateixa precipitació, altres variables meteorològiques o canvis fenològics de la capçada. Però la gran heterogeneïtat que presenten les capçades d'un bosc fan que la distribució espacial del volum de trascol de cada precipitació presenti una alta variabilitat, i que una bona estimació d'aquest valor mig de trascol impliqui la utilització d'un nombre considerable de col.lectors de trascol.

Degut a les dificultats econòmiques i logístiques que l'utilització d'un gran nombre de col.lectors comporta, diferents treballs han volgut estimar el nombre mínim de col.lectors necessaris per aconseguir una valor del trascol mig que no superi uns intervals d'error determinats. Aquestes treballs, que s'han dut a terme en boscos de diferents característiques, han utilitzat diverses aproximacions en el el càlcul d'aquest nombre de col.lectors (Czarnowski and Olszewski, 1970, Helvey and Patric, 1965, Kimmins, 1973, Kostelnik et al, 1989, Lawrence and Fernandez, 1993, Peterson and Rolfe, 1979, Puckett, 1990b). Alguns d'aquests treballs han fet també una aproximació paral.lela en el cas de les estimes de la composició química del trascol. En tots aquests casos conclouen que el nombre de col.lectors necessaris per mantenir els mateixos marges d'errors en el càlcul de les mitjanes de les variables químiques del trascol, és més gran que en el cas del volum (Kimmins, 1983, Kostelnik et al, 1989, Lawrence and Fernandez, 1993, Puckett, 1990b).

En el present treball (capítol 3) hem utilitzat un nombre elevat de col.lectors de trascol en l'estima del volum de trascol setmanal. Això ens permet determinar la fiabilitat de les mesures de trascol mig en els dos alzinars estudiats així com analitzar com varia l'estima del trascol setmanal depenent del nombre de col.lectors utilitzats. Per tant, més que intentar determinar exactament un nombre de col.lectors mínim segons el error que volguem acceptar, el nostre principal objectiu era utilitzar aquests remostrejos per veure com varia la dispersió de les mitjanes segons el nombre de col.lectors. Dit d'una altra manera, si ens plantegem en un alzar d'aquestes característiques fer un estudi del volum de trascol, com millorarà l'estima de la mitjana si augmenta el nombre de col.lectors?

Així, mitjançant una aproximació estadística basada en la tècnica de bootstrap i sobre un total de 32 col.lectors, en aquest capítol volem determinar:

- 1) com varia la bondat de l'estima de la mitjana del trascol setmanal depenent del nombre de col.lectors utilitzats,
- 2) com influència el volum de precipitació en aquesta estima setmanal del trascol depenent del nombre de col.lectors utilitzats.

4.2 Material i mètodes.

4.2.1 Dades utilitzades

Les dades utilitzades en aquest capítol són els volums mitjans obtinguts per cada un dels 8 col·lectors situats en 4 parcel·les instal·lats a la zona de La Castanya (LC) i de Riera de Sant Pere (RP) (veure apartat 2.2.2 i 3.2.3). Les diferències entre parcel·les en el volum de trascol mig per col·lector no van resultar significatives ni per LC ni per RP (apartat 3.3.3.1), aquest resultat permet considerar els 32 col·lectors conjuntament per cada zona.

Aquests volums mitjans de trascol obtinguts per tot el període a LC i a RP es troben detallats a la taula 4.1. Els valors corresponen al període del 23-1-95 al 25-6-96. El nombre de setmanes d'aquest període en que es va recollir trascol fou de 51 per LC i 49 per RP. En el cas de RP també es va calcular la mitjana del trascol utilitzant: 1) la meitat de setmanes, escollint un de cada dos ($n=25$), 2) les setmanes amb un volum de precipitació menor de 5 mm ($n=12$) i 3) les setmanes amb precipitacions majors de 40 mm ($n=13$), totes aquestes mitjanes es troben també a la taula 4.1. Aquests càlculs no es van repetir per LC ja que en aquesta zona el volum de trascol del 18-12-95 no es va poder recollir per sobreiximent dels col·lectors. Aquesta setmana en que va sobreixir els col·lectors és precisament la de major volum i el seu valor mig es va estimar basant-nos en la precipitació setmanal d'aquest període i la regressió entre el volum de trascol setmanal i la precipitació setmanal per tot el període (apartat 3.2.2). Tanmateix aquesta aproximació implica un cert error ja que el valor d'aquesta setmana no es troba en el rang de la regressió. Aquest error, tal com discutim a l'apartat 3.2.2, no és molt gran si considerem la mitjana ponderada del trascol setmanal de tot el període o el volum total del període però potser considerable si considerem el valor de trascol d'aquesta setmana concreta. I encara més si aquest valor cal estimar-lo per cada col·lector per separat per poder utilitzar-lo en el remostreig. Per tant aquest episodi no l'hem considerat en els nostres càlculs. En el cas de les pluges majors de 40 mm no incloure aquest episodi podia esbiaixar molt el resultat ja que el nombre de setmanes és petit i a més no es considera precisament l'episodi de major precipitació. Per tant la influència que les pluges de major volum poden tenir en les mitjanes de trascol en el cas

de LC estaria molt condicionada per l'eliminació d'aquest episodi, pel que no les hem considerat i hem fet la comparació entre pluges de volum petit i de volum gran només per RP.

Taula 4.1 Mitjanes de trascol (en mm de pluja) per cada un dels 32 col·lectors (indicats amb el nombre de la parcel·la seguida pel nombre del col·lector) considerant tots els mostrejos setmanals (mitjana total) per LC i RP i només per RP, considerant: les setmanes amb precipitacions inferiors a 5 mm ($P < 5\text{mm}$), les setmanes amb precipitacions superiors a 40 mm ($P > 40\text{mm}$) i la meitat de les setmanes escollides de forma alterna (Mei). Totes les dades corresponen al període del 23-1-95 al 25-6-96.

Nº col·lector	La Castanya		Riera de Sant Pere		
	mitjana total	mitjana total	P < 5mm	P > 40mm	Mei
11	19,8	18,4	1,01	46,8	14,8
12	22,0	13,5	0,83	32,8	11,1
13	14,9	13,5	0,75	34,1	11,3
14	27,4	15,3	1,24	37,2	12,7
15	20,0	13,0	0,79	31,8	10,6
16	22,8	13,9	0,97	34,2	11,6
17	11,1	26,5	1,19	67,9	22,3
18	23,8	20,1	1,50	50,0	16,9
21	13,5	18,7	0,79	44,8	13,5
22	14,3	16,9	1,36	41,4	14,0
23	20,3	15,7	0,93	39,8	12,4
24	18,4	18,8	1,57	45,2	16,0
25	16,0	15,7	1,03	40,1	12,5
26	16,7	17,3	0,77	43,8	14,6
27	18,7	15,9	1,07	39,7	12,9
28	15,6	16,8	0,75	43,1	13,8
31	20,6	14,8	0,67	37,9	11,3
32	19,1	17,6	1,44	41,5	14,1
33	19,4	17,4	1,15	43,3	14,0
34	16,6	12,7	0,58	32,6	10,3
35	17,0	10,6	0,64	25,7	9,0
36	22,8	14,5	0,44	37,8	11,7
37	19,6	17,5	0,37	45,4	14,3
38	18,6	14,9	0,35	39,4	12,2
41	20,3	25,6	1,66	63,9	21,8
42	27,7	23,5	1,10	59,0	19,5
43	16,5	15,3	1,03	37,6	12,6
44	22,1	19,7	1,36	49,0	16,1
45	17,0	16,7	0,76	42,6	13,7
46	18,5	21,3	1,31	54,1	17,7
47	16,8	19,8	0,77	49,4	15,9
48	13,8	14,8	0,99	35,7	12,8

4.2.2 Tractament estadístic

Per poder simular la distribució de les mitjanes possibles obtingudes si es mostreja amb un nombre n de col·lectors, vam crear una rutina de remostreig que obtenia la mitjana global per tot el període, a partir de les mitjanes de la taula 4.1. Així, per cada nombre n de col·lectors (de 2 a 31), es calculava 250 vegades el volum mig de trascol, obtingut amb els valors de n col·lectors escollits cada cop a l'atzar sobre els 32 disponibles. Això ens permet simular la distribució de les mitjanes possibles obtingudes mostrejant amb un nombre n de col·lectors (de 2 a 31). Aquest procediment és similar a l'utilitzat per generar distribucions "bootstrap" de qualsevol estadístic (p. e. Sokal, 1995), però en aquest cas els col·lectors s'escollien en cada remostreig sense reemplaçament. Les possibles combinacions escollint de 2 a 31 elements sense reemplaçament d'un total de 32 es troben detallades a la taula 4.2.

Taula 4.2 Número de combinacions possibles escollint sense reemplaçament n col·lectors sobre un total de 32, considerant des de $n=2$ fins a 31.

n	${}_{32}C_n$	n	${}_{32}C_n$	n	${}_{32}C_n$
2	496	12	$2,3 \cdot 10^8$	22	$6,4 \cdot 10^7$
3	4960	13	$3,5 \cdot 10^8$	23	$2,8 \cdot 10^7$
4	$3,6 \cdot 10^4$	14	$4,7 \cdot 10^8$	24	$1,0 \cdot 10^7$
5	$2,0 \cdot 10^5$	15	$5,7 \cdot 10^8$	25	$3,4 \cdot 10^6$
6	$9,0 \cdot 10^5$	16	$6,0 \cdot 10^8$	26	$9,0 \cdot 10^5$
7	$3,4 \cdot 10^6$	17	$5,7 \cdot 10^8$	27	$2,0 \cdot 10^5$
8	$1,0 \cdot 10^7$	18	$4,7 \cdot 10^8$	28	$3,6 \cdot 10^4$
9	$2,8 \cdot 10^7$	19	$3,5 \cdot 10^8$	29	4960
10	$6,4 \cdot 10^7$	20	$2,3 \cdot 10^8$	30	496
11	$1,3 \cdot 10^8$	21	$1,3 \cdot 10^8$	31	32

Per la distribució de mitjanes obtingudes amb cada col·lector determinarem la mitjana d'aquesta distribució així com els valors superior i inferior on es troba un determinat percentatge de la distribució. Aquests valors límits s'obtenen basant-nos en el fet que la distribució de les mitjanes d'una distribució normal és distribueixen normalment, independentment del nombre de mostres utilitzades (Sokal, 1995). Així, com la distribució del volum de trascol recollit per cada col·lector al llarg de tot el període (és a dir la distribució original a partir de la qual es calculen les mitjanes de les distribucions per cada nombre de col·lectors) és normal, les distribucions de mitjanes generades a partir d'aquesta també es distribueixen normalment. La representació gràfica d'aquestes mitjanes i valors límits (límits dels intervals on es troba un percentatge determinat de la distribució) per cada nombre de col·lectors genera unes corbes que ens permeten valorar com varia la dispersió d'aquestes mitjanes segons augmenta el nombre de col·lectors utilitzats en la seva generació.

El càlcul dels coeficient de variació (C.V.=mitjana/desviació estàndard) de la distribució de mitjanes obtingudes per remostreig, permet comparar la dispersió entre les distribucions independentment del valor de la mitjana. Així, el càlcul del C.V. d'aquestes distribucions resulta útil per comparar, per un mateix nombre de col·lectors, la dispersió de les seves mitjanes segons haguem utilitzat els valors de volum de trascol de totes les setmanes en el seu càlcul, o només les setmanes amb precipitacions majors de 40 mm, menor de 5 mm o la meitat de setmanes escollides alternativament.

Una altra manera de determinar el nombre de col·lectors mínim que ens cal per obtenir la mitjana del trascol acceptant un determinat marge d'error es basa també en que la distribució de les mitjanes dels 32 col·lectors és normal. Així podem utilitzar una fórmula derivada del interval de confiança de la mitjana en una distribució normal (Sokal, 1995), que determina el nombre de col·lectors en que s'obté un determinat error L respecte a la mitjana:

$$n = Z_{(0.05)(2)}^2 \frac{\sigma^2}{L^2} \quad 4.1$$

essent: n el número de col.lectors, $Z_{(0.05)(2)}^2$ el valor Z de la distribució normal per un nivell de significació de 0.05 en una distribució amb dues cues, σ la desviació estandar de la distribució, que coneixem a partir de la distribució obtinguda amb els 32 col.lectors; i finalment L el valor numèric del % de la mitjana que acceptem com error multiplicat per dos, ja que l'interval d'error és tant superior com inferior a la mitjana. Aquesta fórmula ens indica, amb una probabilitat del 95%, que n és el nombre de rèpliques que permet obtenir un límits de confiança L per la mitjana, que es distribueix normalment amb una desviació standard σ .

4.3 Resultats

A la figura 4.1 trobem representades per les dues zones la mitjana de la distribució de mitjanes de volums de trascol generades per remostreig segons el nombre de col.lectors utilitzats en la seva generació. També hem representat, per cada número de col.lectors, on es troba el límit inferior i superior del interval de la distribució normal que inclou el 95, el 90 i el 80%, de les mitjanes possibles que haguéssim obtingut mostrejants durant el mateix període escollint a l'atzar aquell número n de col.lectors del total dels 32 utilitzats realment. Hem representat igualment la mitjana obtinguda durant tot el període utilitzant els 32 col.lectors així com, amb una línia discontinua, els valors que difereixen un 5 o un 10 % per sobre i sota del valor d'aquesta mitjana.

Les corbes superior i inferior de la distribució de mitjanes obtingudes a la figura 4.1 són força simètriques, com era d'esperar tractant-se d'una distribució normal. Per altra banda destaca la gran similitud entre les figures de LC i RP, tot i que potser a RP la dispersió és lleugerament superior. Així, el nombre de col.lectors en que un percentatge determinat de la distribució de mitjanes està entre els marges d'error determinats és similar a les dues zones. Per exemple, per les dues zones: el 95 % de la distribució de mitjanes no supera el 10% de l'error a partir d'utilitzar 9 col.lectors a LC i 11 a RP; i no supera el 5% a partir d'utilitzar 22 a LC i 23 a RP.

A partir de les corbes de la figura 4.1 podem ajustar una sèrie de funcions logarítmiques del tipus:

$$y = a + \log(x) \text{ en el cas del límit superior de la distribució}$$

$$y' = a - \log(x) \text{ en el cas del límit inferior de la distribució}$$

on y és el límit superior o inferior de la distribució, és a dir entre els valors que trobarem el 95, 90 o 80 % respectivament dels valors mitjans obtinguts si haguéssim mostrejat amb un nombre de col.lectors x , escollits a l'atzar dels 32 que teniem instalats. Els valors concrets d'aquestes funcions es troben a la taula 4.3. i a partir de les mateixes podem ajustar el nombre de col.lectors necessari segons l'error que acceptem.

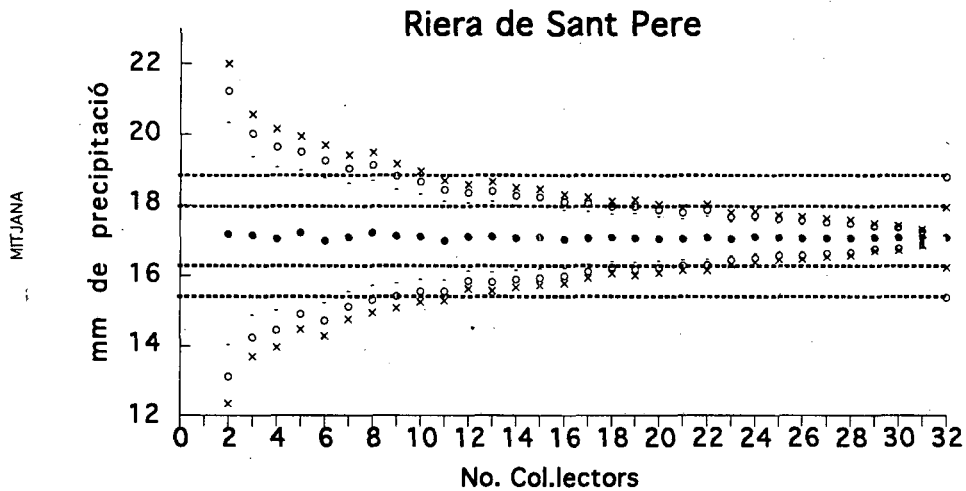
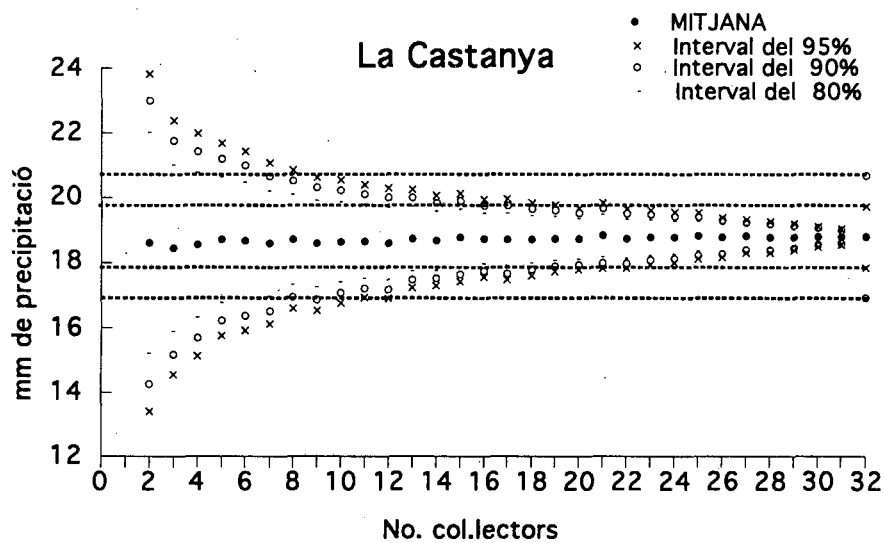


Figura 4.1 Mitjana i Interval del 95%, 90% i 80% de la distribució de les mitjanes de cada remostreig segons el diferent nombre de col.lectors (excepte per 32 col.lectors). El valor corresponent a 32 col.lectors és la mitjana obtinguda a l'estudi. Marcat amb línies discontinües hi ha el valor de mm de precipitació obtingut al sumar o restar a la mitjana un 5 o un 10% del seu valor.

Taula 4.3 Equacions de les funcions logarítmiques calculades a partir de les corbes de la figura 4.1. y és en cada cas el valor del límit superior o inferior de la distribució per tres intervals (95, 90 o 80%) de la distribució en que es troben les mitjanes obtingudes amb el remostreig a les dues zones, x és el nombre de col·lectors de trascol. (veure text i figura 4.1).

		Límit superior	R ²	Límit inferior	R ²
La Castanya	95%	$y = 24.1 - 3.31 \log(x)$	0.96	$y = 12.9 + 3.79 \log(x)$	0.97
	90%	$y = 32.2 - 2.61 \log(x)$	0.86	$y = 13.9 + 3.08 \log(x)$	0.90
	80%	$y = 22.2 - 2.14 \log(x)$	0.96	$y = 14.7 + 2.61 \log(x)$	0.99
Riera de Sant Pere	95%	$y = 22.4 - 3.32 \log(x)$	0.97	$y = 12 + 3.2 \log(x)$	0.97
	90%	$y = 21.4 - 2.68 \log(x)$	0.81	$y = 12.9 + 2.51 \log(x)$	0.89
	80%	$y = 20.6 - 2.24 \log(x)$	0.98	$y = 13.7 + 2.11 \log(x)$	0.98

A la figura 4.2 hem representat únicament les mitjanes de les distribucions obtingudes amb els diferents remostrejos a una escala en que es pot observar millor les variacions. En el cas de 32 col·lectors, la mitjana representada en aquestes figures és l'obtinguda durant el mostreig setmanal. A LC trobem que si utilitzem un nombre de col·lectors inferior a 22 al fer el remostreig, la mitjana és inferior sempre a la mitjana final (figura 4.2a). Això es deu a que tot i que la distribució del volum dels 32 col·lectors no difereix significativament d'una normal, el col·lector 4 de la parcel·la 1 recollia un valor de volum molt superior que la resta (taula 4.1). Això provoca que quan aquest col·lector intervé en el càlcul de la mitjana, augmenta molt el seu valor, i segons augmenta el nombre de col·lectors utilitzat en el remostreig, augmentarà la probabilitat d'utilitzar aquest col·lector en el càlcul de la mitjana, i per tant també el valor de la mitjana d'aquesta distribució.

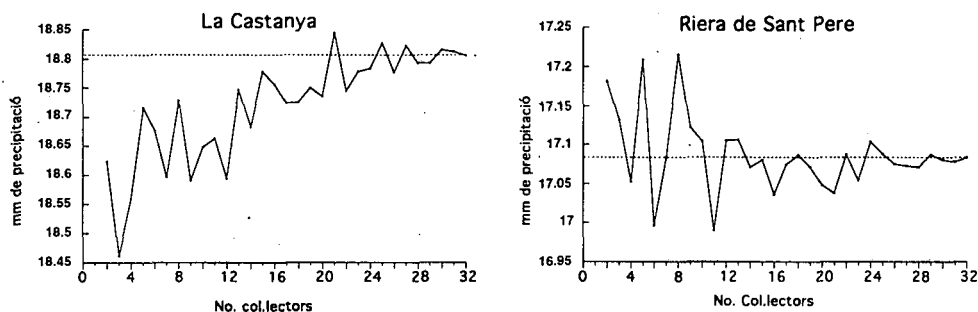


Figura 4.2 Mitjanes de trascol (mm) per LC i RP obtingudes amb el remostreig segons el nombre de col.lectors utilitzat

Tal com hem explicat a la metodologia (apartat 4.2.2) podem utilitzar la fórmula 4.1 per valorar el nombre de col.lectors mínim que no supera el percentatge d'error desitjat respecte la mitjana segons una probabilitat determinada, ja que la distribució de mitjanes segueix una normal. A la taula 4.4 hi ha detallat el nombre de col.lectors necessaris per no superar errors del 5 o 10 % en l'estima de la mitjana de volum de trascol segons els nivells de significació de 0,05, 0,1, o 0,2, és a dir amb un 95, 90 i 80 % de probabilitats respectivament.

Taula 4.4 Número de col.lectors necessaris per estimar el valor mig del volum de trascol per tot el període sense superar un determinat error i amb diferents nivell de significació α .

	La Castanya		Riera de Sant Pere	
	% error sobre la mitjana		% error sobre la mitjana	
	5	10	5	10
0,05	15	4	17	4
α 0,10	11	3	12	3
0,2	6	2	7	2

A la figura 4.3 hem representat el C.V. de la mitjana generada pel remostreig, segons el nombre de col.lectors, diferenciant quan les mitjanes dels 32 col.lectors amb que es va generar la distribució provenien de considerar: totes les precipitacions, la meitat de les precipitacions, les majors de 40 mm o les menors de 5 mm. S'observa clarament en aquesta figura, com les setmanes en que la precipitació és menor ($P < 5\text{mm}$), l'amplitud de la dispersió de les mitjanes és major que en setmanes amb precipitacions més grans ($P > 40\text{mm}$). En canvi, en aquesta mateixa figura, observem com no hi ha diferència entre utilitzar 49 setmanes de mostreig i 25, mantenint però volums similars de les precipitacions. Aquest resultat coincideix amb el discutit a l'apartat 3.4.8., en que mostravem com la variabilitat espacial del volum de trascol era robusta en el temps i el seu patró no variava temporalment.

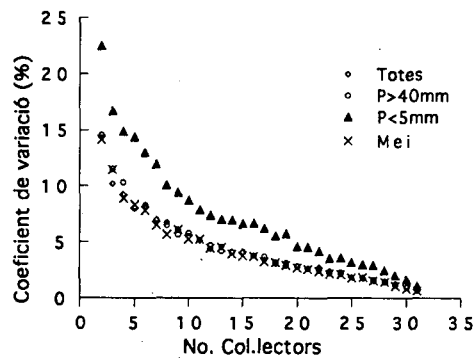


Figura 4.3 Coeficient de variació (C.V.) de la distribució obtinguda amb el remostreig segons el nombre de col.lectors per la zona de RP. Hem utilitzat en cada cas: totes les setmanes (totes), només la meitat (Mei), les setmanes amb pluges superiors a 40 mm ($P > 40\text{mm}$) o amb pluges inferiors a 5 mm ($P < 5\text{mm}$).

4.4 Discussió

4.4.1 Variació de la dispersió de les mitjanes segons el nombre de col.lectors utilitzats.

Segons el que mostra la figura 4.1 ha calgut utilitzar 22 col.lectors a LC i 23 a RP per què el 95 % de les mitjanes generades en el remostreig no superin en un 5 % el valor de la mitjana obtinguda amb el col.lector 32. En canvi, calculant el nombre de col.lectors a partir de la fórmula 4.1 obtenim un valor inferior, 17 en el cas de RP i 15 per LC. Així doncs el mètode de remostreig que nosaltres hem utilitzat, ens aporta unes conclusions de caràcter més conservador que utilitzant la fórmula basada en la distribució normal de les mitjanes de volum de trascol dels col.lectors.

Aquest 5% d'error que acceptem el podem considerar força gran, ja que això faria per exemple que el volum d'aigua provinent de la precipitació que s'intercepta per la capçada, calculat com precipitació menys trascol i menys escolament cortical, tingués un error encara major (ja que a nivell anual el volum d'intercepció és menor en valor absolut que el del trascol i s'obté mitjançant una resta, el que implica un augment de l'error). Per altra banda, a la figura 4.2 s'observa com amb aquest nombre de col.lectors la mitjana encara no s'ha estabilitzat clarament. Per tant sembla que el nombre de col.lectors necessari per aconseguir una bona estima de la mitjana global, probablement no seria molt menor que 30 col.lectors del tipus utilitzat per nosaltres i colocats a l'atzar en 4 parcel·les amb una superfície total de 314.5 m² (apartat 2.2.2). 30 col.lectors és el nombre apuntat per Czarnowski and Olszewski (1970) utilitzant col.lectors situats regularment i Kimmins (1973) amb col.lectors situats a l'atzar. Tantmateix alguns estudis posteriors han considerat que un nombre menor de col.lectors era suficient per estimar el volum de trascol, basant-se però en acceptar un marge d'error superior (Lawrence and Fernández, 1993, Pucket, 1990b).

En general, la disminució de la dispersió de les mitjanes obtinguda quan augmentem en un col.lector el nombre de col.lectors utilitzats en el remostreig, segons es mostra a la figura 4.1 i segons les funcions logarítmiques ajustades

per les corbes d'aquesta figura (taula 4.4), és menor segons augmenta el nombre de col.lectors. Així, es pot observar com fins al col.lector 9 de LC i 11 de RP, el límit del 95% de la distribució de les mitjanes es troba per sobre d'un marge d'error de fins el 10%. Tanmateix, fins a aquest nombre de col.lectors, l'augment d'un sol col.lector representa una descens molt gran en l'amplitud de la distribució de les mitjanes, pel que qualsevol esforç en augmentar el nombre de col.lectors representarà una considerable millora en la determinació del volum de trascol anual. A partir de 9-11 col.lectors i fins utilitzar 22 col.lectors a LC i 23 a RP, el límit del 95% de la distribució de les mitjanes descendeix des del marge d'error de la mitjana d'un 10% fins un 5%. Aquest resultat coincideix amb el proposat per Pucket (1990b) que delimita en 11 el nombre de col.lectors que permet amb un 95% de confiança obtenir estimes de la mitjana del trascol que no superen un 10 % d'error. En aquest cas el augment d'un sol col.lector té un efecte en la disminució de l'error menor que quana utilitzem pocs col.lectors, i per aconseguir disminucions considerables de l'error ja cal augmentar 2 o 3 col.lectors. Si utilitzem més de 22 col.lectors a LC i 23 a RP, ens assegurem amb un 95% de probabilitat, no superar un 5% d'error de la mitjana. De fet, a partir de 25-26 col.lectors fins a 32, les millores en l'estimació de la mitjana són molt petites. Tanmateix si ens fixem a la figura 4.2 no és fins al col.lector 26 per LC i 28 per RP on s'estabilitza el valor de la mitjana.

Una possibilitat de reduir el nombre de col.lectors obtenint una bona estima de la mitjana del trascol de tot el període és recolocar-los a l'atzar després de cada mostreig (Kimmins, 1973). En el nostre cas podriem haver instal·lat igualment els 32 col.lectors però només utilitzar un nombre més petit de col.lectors, escollits a l'atzar entre aquest 32, cada setmana de mostreig. Mostrejant un número de setmanes suficientment gran, el valor setmanal es distribuiria normalment al voltant de la mitjana, és a dir suposariem que les setmanes en que sobrevaloren el valor mig es compesen amb les que l'infravalorem. De manera que la mitjana obtinguda al final dels mostrejos no hauria de ser molt diferent a la representada a les figures 4.2. De fet, si considerem el pitjor valor obtingut com mitjana de la distribució a les figures 4.2, en el cas de LC representa un error del 2.2% de la mitjana i en el cas de RP, un 1.2%. Aquesta metodologia permet doncs disminuir molt el nombre de

col.lectors utilitzats cada setmana per obtenir una acceptable estima del trascol mig de tot el període. Amb aquest mètode, però, el valor obtingut per una setmana concreta pot ser molt esbiaixat. Per tant, l'utilització d'un petit nombre de col.lectors escollits a l'atzar en cada mostreig, no permet estudiar la variabilitat temporal del trascol, ni la seva relació amb característiques meteorològiques o fenològiques que són variables en el temps (Kimmins, 1973), ja que el valor de trascol d'un mostreig setmanal concret pot tenir un error molt considerable.

Finalment, remarquem, com hem comentat a l'apartat 4.3, com l'evolució de la dispersió de les mitjanes calculada a la zona de LC és molt similar a la de RP (veure figura 4.1 o taula 4.3) Això implica que la variabilitat espacial del volum de trascol a ambdós boscos és molt similar i que, al menys en les característiques de capçada que determinen la recirculació de l'aigua de pluja abans d'arribar al sòl en forma de trascol, els dos boscos són similars. Aquest fet permet també considerar que els resultats obtinguts utilitzant menys setmanes en el remostreig o setmanes amb volums de precipitació menors que 5 mm o majors que 40 mm (figura 4.3), si bé s'han obtingut només per RP, siguin fàcilment assumibles també per LC. Per tant, la interpretació que fem d'aquest resultat al següent apartat serà assumible com vàlida pels alzinars de les dues zones.

4.4.2 Influència del volum de precipitació i del número de setmanes mostrejades en la dispersió de les mitjanes segons el nombre de col.lectors.

Hem observat que en pluges de volum petit, el C.V. és major que a les de volum gran (figura 4.3). Conseqüentment, el règim de precipitacions pot ser determinant en el moment d'escollir el nombre de col.lectors, ja que en cas de tenir moltes pluges de volum petit necessitem major nombre de col.lectors per aconseguir la mateixa exactitud que en el cas de precipitacions de major volum.

Per altra banda, la disminució de setmanes de mostreig, al menys en el rang de setmanes valorat, no augmenta la dispersió de les mitjanes. Aquest fet i que l'augment de volum signifiqui menor dispersió, com hem comentat al paràgraf anterior, implica que si allarguem el període de mostreig, per exemple

de setmanal a quinzenal, la dispersió necessàriament disminuirà ja que el volum recollit a les diferents setmanes serà sempre igual o superior i el fet de tenir menys mostres no afectarà a aquesta dispersió. Així el mostreig quinzenal permet utilitzar un nombre menor de col·lectors de trascol que el mostreig setmanal per obtenir el mateix grau d'exactitud en el càlcul de la mitjana del volum d'un període. Lawrence and Fernandez (1993) troben també un resultat similar, ja que si utilitzen com a base de la estima del nombre de col·lectors els valors estacionals de volum de trascol obtenen un número de col·lectors menor que si utilitzava mesures mensuals, mantenint els mateixos nivells d'error. Tanmateix, abans d'establir un mostreig quinzenal en un alzinar d'aquestes característiques cal tenir en compte els inconvenients que el mostreig quinzenal pot tenir respecte el setmanal, en especial si els objectius no són únicament estimar valors anuals de trascol. Així el mostreig quinzenal, i en, general, allargar el període de mostreig: 1) pot comportar un possible augment de l'evaporació i per tant una subestima del valor de trascol; 2) disminueix el detall en que es pot analitzar la variabilitat temporal del volum de trascol i la seva possible relació amb variables meteorològiques de la precipitació o fenològiques del bosc; 3) en el cas de que també s'analitzi la química, en el mostreig quinzenal del trascol la possibilitat de modificacions en la seva composició és major que en el setmanal (Liechty and Mroz, 1991).

5 Deposició atmosfèrica dels elements químics majoritaris a dos alzinars del Montseny

5.1 Introducció

La comparació entre els aportos d'elements a la deposició global amb els del trascol i de l'escolament cortical permet determinar la importància dels diferents processos d'enriquiment i empobriment dels nutrients i els contaminants en passar per la capçada (Eaton et al, 1973, Freedman and Prager, 1986, Johnson, 1992, Parker 1983, Lovett, 1994). Per tant, les diferents característiques de la capçada, així com l'estat nutricional i fenològic dels arbres influeixen en gran mesura la magnitud del flux de nutrients i contaminants, que en forma de trascol i escolament cortical finalment arriba al sòl del bosc, i també a la seva distribució espacial (Lindberg et al, 1986, Parker, 1983).

El coneixement de la deposició atmosfèrica en un bosc resulta crucial per entendre el cicle de nutrients de l'ecosistema (Johnson and Lindberg, 1992, Landmann and Bonneau, 1995). Com a resultat de l'acidesa de la pluja en zones del centre d'Europa i del NE dels Estats Units i del Canadà, s'han incrementat molt els estudis sobre els efectes d'aquesta en l'acidificació dels ecosistemes forestals en les tres últimes dècades (Herman and Gorham, 1957, Hofmann et al, 1980a, Landmann and Bonneau, 1995, Likens et al, 1976, Reuss and Johnson, 1986).

L'aproximació basada en l'ús de petites conques per determinar els balanços d'entrada i sortida d'elements ha permès d'avaluar l'estat i la resposta del sistema enfront de modificacions d'aquestes entrades (Likens and Bormann, 1995, Rodà et al, 1990). Així mateix, les prediccions generades pels models biogeoquímics de conca depenen molt de les taxes d'entrades atmosfèriques.

L'establiment del patró espacial geogràfic de la deposició atmosfèrica permet determinar gradients de contaminació en relació amb les fonts d'emissió d'aquests elements. (Liechty et al, 1993, Pregitzer et al, 1992). D'altra banda, la deposició atmosfèrica presenta variacions temporals importants relacionades amb: 1) diferents situacions meteorològiques, 2) variacions en les emissions i 3)

afectant principalment al trascol, diferents estats fenològics de la vegetació. El seguiment de la química de la pluja a escales de temps llargues ha permès determinar tendències en la deposició d'alguns d'aquests elements. Com per exemple, la tendència a la disminució de la deposició de sofre com a conseqüència de la disminució de les emissions de SO₂ en la darrera dècada (Àvila, 1996, Likens et al, 1990, Hedin et al, 1987).

Al nostre país, diversos treballs han estudiat la deposició atmosfèrica en petites conques cobertes amb alzinars mediterranis així com els seus efectes en la dinàmica de l'ecosistema forestal. Aquestes estudis s'han dut a terme al massís del Montseny i a les muntanyes de Prades al nord-est de la Península Ibèrica (Àvila, 1988, Àvila, 1996, Àvila and Rodà, 1991, Àvila et al, 1997, Àvila and Alarcon, 1998, Bellot and Escarré, 1991, Bellot et al, 1998, Escarré et al, 1998, Piñol, 1990, Rodà 1983, Rodà et al, 1993) Tantmateix els alzinars on s'han realitzat aquests estudis, a Prades i al Montseny, es troben en zones relativament protegides a la influència de la contaminació de nuclis de població i/o industrials i viaris. En zones més septentrionals d'Europa i a Nord-amèrica, el patró de la química de la precipitació a nivell regional està principalment controlat per la situació respecte a la circulació atmosfèrica, que porta masses d'aire de nuclis urbans i d'àrees d'activitat industrial, i per la influència marina (Lindberg, 1982, Lovett, 1994, Liechty et al, 1993, Ollinger et al, 1993, Parker, 1983, Pregitzer et al, 1992, Taylor, 1994). Per tant es pot pensar que boscos situats en zones amb major exposició a aquestes àrees urbanes i/o d'activitat industrial, situació en la que es troben moltes masses boscoses de Catalunya, podrien tenir una major entrada de nutrients i contaminants que els estudiats fins al moment a Prades i al Montseny.

Tal com s'ha descrit al capítol introductori, els alzinars d'aquest estudi presenten una posició topogràfica amb una exposició contrastada a la influència de la contaminació procedent de la zona del Vallès Oriental i del Barcelonès. Així, l'objectiu d'aquest capítol es establir si, en efecte, hi ha una diferència en la deposició atmosfèrica rebuda per aquests dos alzinars. Per fer-ho, determinarem de forma comparada entre els dos alzinars :

i) La química de la deposició global, del trascol i de l'escolament cortical per: H^+ , alcalinitat, Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , F^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ i K^+ .

ii) La importància de les diferents formes de deposició atmosfèrica així com dels processos de capçada que poden modificar aquesta deposició.

iii) la variabilitat en el temps de la deposició atmosfèrica d'aquests elements i quins factors la influencien.

iv) la variabilitat espacial de la química del trascol en resposta a la heterogeneïtat de la capçada del bosc

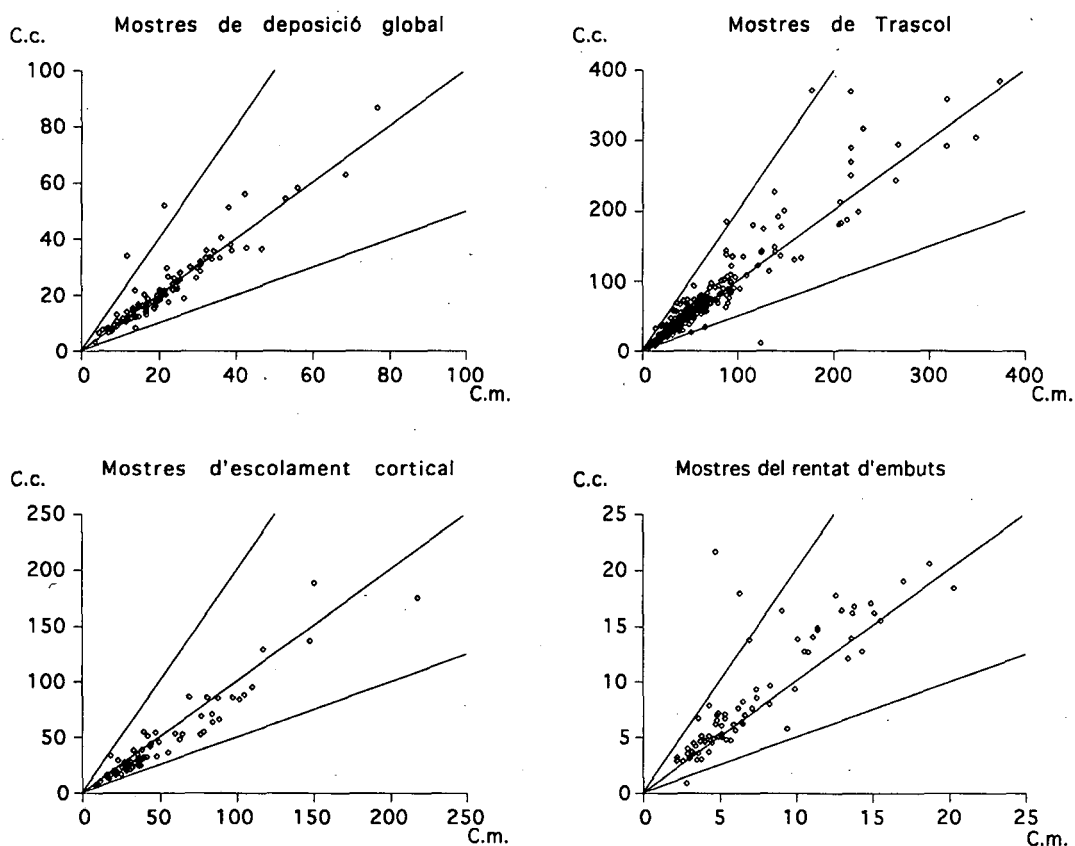
5.2 Metodologia

5.2.1 Àrea d'estudi

El treball es va dur a terme a l'estació biològica de La Castanya (LC) i a Riera de Sant Pere de Vilamajor (RP), descrites al capítol 2. Com ja s'explica en aquest capítol introductori, l'estació LC, degut a la seva posició topogràfica, representa una posició relativament més protegida de la contaminació del Barcelonès i del Vallès Oriental que l'estació de RP.

5.2.2 Mostreig i càlcul de les variables setmanals

La descripció dels col·lectors utilitzats, del protocol de mostreig i d'anàlisi, així com els procediments de càlcul dels valors setmanals de concentracions i aports es troben àmpliament detallats al capítol 2.



Fig

5.1 Comparació entre la conductivitat mesurada (C.m.) i la conductivitat caculada (C.c) per les mostres de la deposició global, del rentat d'embut, del trascol i de l'escolament cortical.

5.2.3 Qualitat analítica

A la figura 5.1 presentem la relació entre la conductivitat calculada i la conductivitat mesurada i a la figura 5.2 la relació entre la suma de cations i la suma d'anions (veure apartat 3.5.4) per les mostres de deposició global, de trascol, d'escolament cortical i de l'aigua del rentat d'embuts.

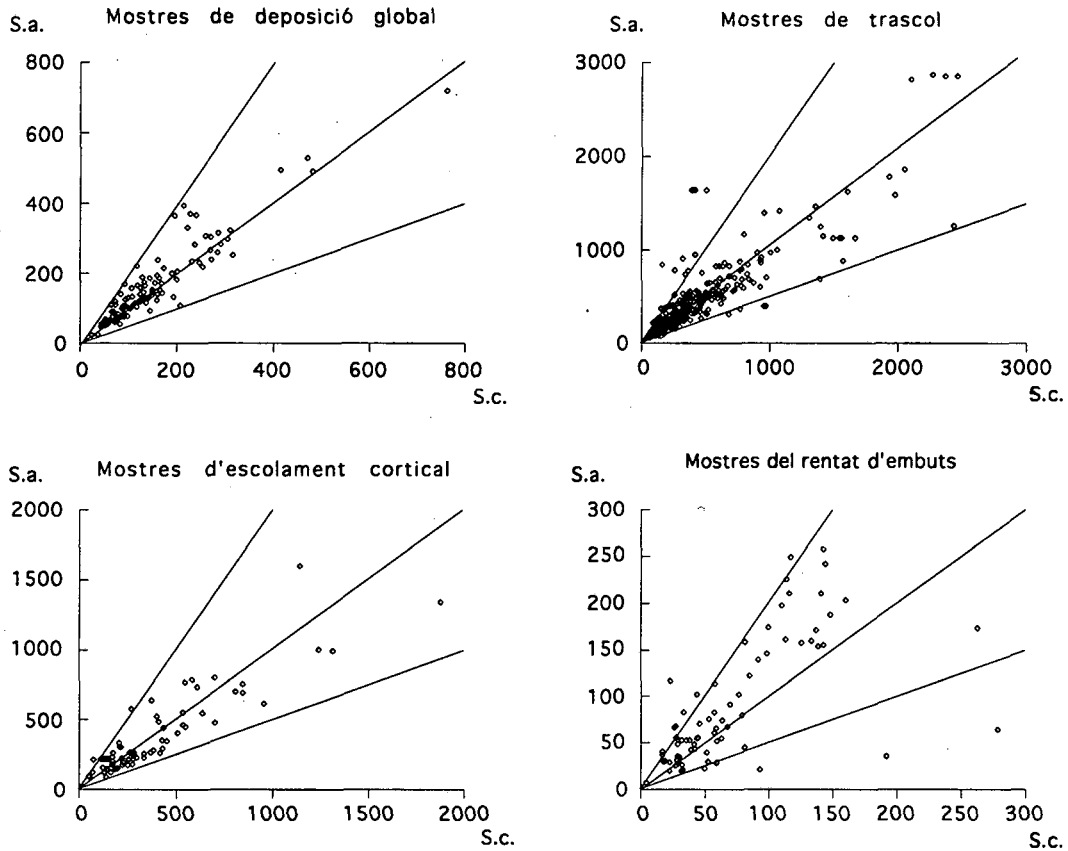


Fig 5.2 Comparació entre la suma d'anions (S.a.) i la suma de cations (S.c) de les concentracions de les mostres de la deposició global, del rentat d'embuts, del trascol i de l'escolament cortical.

En totes les gràfiques de les figures 5.1 i 5.2 es representa tres línies mostrant la relació entre els eixos de 2:1, 1:1 i 1:2 respectivament. Aquests gràfics mostren uns resultat analítics força acceptables i, a excepció del rentat d'embuts, hi ha pocs valors extrems. Les mostres del rentat d'embuts tenen sempre molt baixes concentracions de tots els elements, el que implica: 1) que sovint s'analitzin concentracions properes als límits de detecció dels aparells, pel que la possibilitat d'error és sempre major i 2) que petites diferències en valor absolut impliquin desviacions grans de la relació 1:1.

5.2.4 Valors faltants

El trascol de la setmana del 18-12-95 va sobreixir dels col·lectors i per tant no es va poder recollir de forma correcta. Degut al gran volum recollit per aquesta setmana, si aquesta s'elimina de les dades es comet un error considerable en el càlcul de la concentració ponderada per volum de tot el període i sobretot en el dels aportos totals. Per resoldre el problema vam considerar com a valor de concentració, la concentració mesurada a les mostres de la data, i el volum de trascol es va estimar per regressió respecte a la precipitació (apartat 3.2.2).

Quan hem detectat contaminacions de la mostra, o quan no hi havia prou mostra per realitzar totes les anàlisis, es procedia com s'ha descrit a l'apartat 2.3.5.

5.2.5 Valors no detectats

En algunes de les mostres no s'ha pogut detectar la concentració de PO_4^{3-} , ni de F^- . Aquests dos ions presenten un comportament molt irregular en el temps, de manera que hem trobat unes quantes setmanes en que es detecten, seguides de moltes setmanes en que no es poden detectar. En altres casos, aquest elements es detectaven a les mostres del trascol i escolament cortical però no a les de deposició global. El criteri seguit per fer els diferents càlculs de PO_4^{3-} i de F^- , és el seguit de forma general a altres parts del treball (apartat 2.4.5)

5.2.6 Tractament estadístic

Les dades s'han transformat mitjançant $x' = \log(x+1)$ per ajustar-les a una distribució normal i evitar l'heteroscediscitat de variàncies. La normalitat es valora per l'anàlisi dels residus de les diferents proves aplicades.

El nivell de significació emprat a totes les proves estadístiques presentades al capítol és de 0.05, si bé per alguns casos es detalla més acuradament la significació trobada.

Alguns dels resultats obtinguts en aquest capítol impliquen un nombre elevat de tests estadístics molt relacionats entre sí. En particular per comparar els resultats de conductivitat i concentració entre les dues zones s'han fet 36 proves de la t-students, i per comparar els aportos, 33. Semblantment, les matrius

de correlació de les concentracions setmanals dels elements de la deposició global, el trascol i l'escolament cortical, presenten les correlacions de fins 13 variables. La utilització d'un nombre molt elevat de tests per contestar una hipòtesi comuna implica una alta probabilitat d'obtenir algun resultat significatiu per efecte de l'atzar (apartat 2.5). Per corregir aquest efecte hem recalculat el nivell de significació d'alguns tests mitjançant el test seqüencial de Bonferroni (apartat 2.5).

S'han realitzat diversos anàlisis de components principals (ACPs) per ajudar a la interpretació de les relacions iòniques. Les dades es van transformar amb el mètode de la màxima varianza. S'han utilitzat les variables normalitzades i els resultats s'expressen de forma gràfica. Només hem considerat aquells eixos que expliquen percentatges de la varianza comuna superiors a 10% en els ACPs d'ambdues zones.

5.3 Resultats

5.3.1 Concentracions de la deposició global, el trascol i l'escolament cortical

A la taula 5.1 es mostren les concentracions mitjanes ponderades per volum de la deposició global, del trascol i de l'escolament cortical a les dues zones.

El ió dominant a la deposició global als dos llocs és el SO_4^{2-} . L'ordre d'abundància de la resta d'ions i de l'alcalinitat ha estat lleugerament diferent en ambdues zones, així a LC, $\text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{alcalinitat} > \text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ i a RP, $\text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- = \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{alcalinitat} > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Per tant el catió més abundant a LC és el Ca^{2+} , però a RP és el NH_4^+ .

Pel trascol i l'escolament cortical de LC i de RP, l'alcalinitat (considerant que majoritàriament correspon a el ió HCO_3^-) i el Ca^{2+} són els ions dominants. L'ordre d'abundància dels ions i de l'alcalinitat en aquest fluxos és la següent: 1) al trascol de LC: $\text{alcalinitat} > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Mg}^{2+} > \text{F}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{H}^+$ 2) que es molt semblant a l'ordenació iònica del trascol de RP: $\text{alcalinitat} > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{F}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{H}^+$. 3) A l'escolament cortical de LC: $\text{alcalinitat} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{H}^+$, 4) similar també a la de l'escolament cortical de RP: $\text{Ca}^{2+} > \text{alcalinitat} > \text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{PO}_4^{3-} > \text{H}^+$.

Podem comparar la composició química de la deposició global amb la del trascol i l'escolament cortical mitjançant la taxa d'enriquiment o empobriment de la conductivitat i les concentracions iòniques (veure taula 5.2). A LC hi ha hagut un enriquiment significatiu del trascol respecte a la deposició global pels següents ions (ordenats de major a menor taxa d'enriquiment segons la taula 5.2): $\text{K}^+ > \text{PO}_4^{3-} > \text{alcalinitat} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+$. En el cas del NH_4^+ , NO_3^- i sobretot de l' H^+ hi ha hagut un empobriment en la seva concentració en el trascol respecte a la deposició global. L'escolament cortical ha enregistrat un enriquiment dels mateixos ions, encara que aquest ha estat menor, a excepció de l'alcalinitat. A l'escolament cortical de les dues zones també s'ha trobat un empobriment del NH_4^+ , NO_3^- i H^+ que ha resultat major que al trascol.

Taula 5. 1. Concentracions mitjanes ponderades per volum (X_p), l'error estàndard ponderat per volum (E.E.) i el número de setmanes(n) dels tres fluxos a ambdues zones. Per la deposició global i el trascol dades del període del 23/1/95 al 25/6/96 i les de l'escolament cortical del 6/6/95 al 25/6/96.

		Conductivitat $\mu\text{S/cm } 25^\circ\text{C}$											
		H^+	Alcalinitat	PO_4^{3-}	Cl^-	F^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
		$\mu\text{eq/L}$											
La Castanya													
Deposició global	X_p	7.87	19.6	1.03	22.3	nd	38.9	27.9	31.9	35.9	7.00	18.2	3.45
	E.E.	1.5	7.2	0.12	3.8		3.3	2.3	3.4	5.7	9.5	3.3	.42
	n	56	54	53	53		53	53	53	53	53	53	53
Trascol	X_p	2.59	76.7	6.05	50.0	19.3	60.3	25.0	27.5	73.9	24.8	27.5	47.1
	E.E.	0.46	8.8	0.68	5.1	5.61	4.1	2.5	5.8	5.4	1.8	2.9	4.5
	n	52	50	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Escolament cortical	X_p	0.850	77.6	4.13	36.1	nd	41.2	10.7	17.5	47.5	16.2	18.1	41.4
	E.E.	0.042	3.0	0.15	9.9		6.8	1.9	3.7	7.3	2.6	3.3	7.8
	n	34	33	30	33		33	33	33	33	33	33	33
Riera de Sant Pere													
Deposició global	X_p	11.5	16.1	1.25	30.9	nd	48.2	35.0	37.9	34.9	8.10	21.6	4.26
	E.E.	2.0	5.7	0.117	3.3		3.6	2.7	3.6	4.0	7.1	2.4	0.38
	n	56	43	52	52		52	52	52	52	52	52	52
Trascol	X_p	3.36	111.6	5.10	72.5	10.7	93.7	49.4	56.5	106	32.9	41.2	89.9
	E.E.	0.64	19.8	0.59	49	2.31	5.3	3.4	4.4	7.4	2.7	3.1	15.0
	n	50	46	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Escolament cortical	X_p	1.56	91.3	2.06	66.3	nd	89.2	39.8	42.9	101	29.4	37.2	74.7
	E.E.	0.10	3.4	0.14	2.1		2.3	1.3	1.5	2.8	0.82	1.3	2.0
	n	39	37	37	37		37	37	37	37	37	37	37

Taula 5.2. Taxes d'enriquiment del trascol (Trascol/deposició global) i de l'escolament cortical (escolament cortical/deposició global) calculades a partir de les dades de concentracions i de conductivitat de la taula 5.1.

	Conductivitat	H ⁺	Alcalinitat	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
La Castanya												
Trascol	1.95	0.329	3.91	5,87	2.24	1.55	0.89	0.86	2.06	3.54	1.51	13.6
Escolament cortical	1.4	0.108	3.96	4,01	1.61	1.06	0.38	0.55	1.32	2.31	0.99	12.0
Riera de Sant Pere												
Trascol	2.36	0.292	6.93	3,27	2.34	1.94	1.41	1.49	3.04	4.06	1.91	21.1
Escolament cortical	2.21	0.136	5.67	1,65	1.99	1.85	1.04	1.13	2.89	3.63	1.72	17.46

A RP hi ha hagut un enriquiment en el trascol pel següent ions (ordenats de major a menor taxa d'enriquiment): K^+ >> alcalinitat > Mg^{2+} > PO_4^{3-} > Ca^{2+} > Cl^- > SO_4^{2-} > Na^+ > NH_4^+ > NO_3^- i 'ha detectat un empobriment únicament en la concentració de H^+ . A l'escolament cortical el comportament ha estat similar, si bé amb enriquiment més petit, en especial en el cas del PO_4^{3-} i l'empobriment de l' H^+ ha estat més pronunciat. (taula 5.2).

5.3.2 Aports anuals a la deposició global, el trascol i l'escolament cortical

Els valors dels aports anuals, calculats com el sumatori dels aports setmanals, de la deposició global, el trascol i l'escolament cortical, es troben a la taula 5.3. En el cas de la deposició global, s'ha inclòs també l'aport d'una fracció de la deposició seca gravitatòria obtingut mitjançant el rentat dels embuts (apartat 2.2.1). El percentatge que els aports provinents del rentat d'embuts representen sobre el total de la deposició global es troben a la taula 5.4. Aquests percentatge varia molt depenent del ió considerat, essent el major el de l'alcalinitat i del fosfat (19 i 14 % respectivament). Tots els restants resulten inferiors al 10%.

L'anió incorporat en major quantitat a la deposició global, al trascol i a l'escolament cortical d'ambdues zones és el Cl^- . En el cas dels cations el Ca^{2+} és el que es troba en major quantitat a la deposició global, però en el trascol i l'escolament cortical és el K^+ .

Els aports en el trascol net (obtinguts restant a la suma dels aports en el trascol i l'escolament cortical els aports de la deposició global) resumeixen el comportament de la capçada en relació amb la deposició a ambdues zones: si resulta positiu vol dir que la deposició global de l'element s'enriqueix en passar per la capçada; si és negatiu, vol dir que hi ha un consum en la capçada dels elements aportats per la deposició global. A LC el trascol net és positiu per tots els elements, excepte pel H^+ , el NH_4^+ i el NO_3^- ; i a RP el trascol net és positiu per tots els ions amb la única excepció del H^+ (taula 5.3).

Taula 5.3. Aports totals dels diferents fluxes a ambdues zones entre el 6-6-95 i el 25-6-96.

	Volum mm	Alcalinitat meq m ⁻² any ⁻¹	H ⁺	P-PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	F ⁻	S-SO ₄ ²⁻ kg ha ⁻¹ any ⁻¹	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
La Castanya													
Deposició global*	1275	23.1	.111	0.246	10.8	nd	7.62	4.71	5.36	9.69	1.16	5.77	1.70
Trascol	962	73.3	.0122	0.632	15.4	2.61	8.48	3.02	3.67	12.8	2.68	5.77	16.0
Escolament cortical	33.9	2.63	.0003	0.014	0.433	nd	.224	.0507	.0833	.0323	.0668	0.141	0.548
Trascol net		52.8	-.0985	0.400	5.03		1.08	-1.64	-1.61	3.14	1.59	0.141	14.8
Riera de Sant Pere													
Deposició global*	1048	15.1	.126	0.152	11.4	nd	7.58	4.80	5.17	7.52	1.05	5.32	1.71
Trascol	755	85.0	.0096	0.336	17.6	2.32	10.6	4.74	6.00	14.0	2.70	6.54	25.3
Escolament cortical	55.7	5.07	.0009	0.014	1.31	nd	.797	.312	.335	1.13	0.199	0.476	1.63
Trascol net		75.0	-.115	0.198	7.51		3.82	.252	1.16	7.61	1.85	1.70	25.2

*La deposició global inclou els aports provinents del rentat d'embuts (apartat 2.4.4.)

Taula 5.4. Percentatge que representen els aportes obtinguts amb el rentat d'embuts sobre el total de la deposició global més els mateixos aportes dels rentats.

	Alcalinitat	H ⁺	P-PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	F ⁻	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
% de rentat d'embuts												
LC	18.0	2.2	12.2	5.3	-	2.2	4.0	1.5	9.9	7.3	5.9	13.2
RP	19.0	2.4	24.4	6.7	-	2.4	4.2	1.6	10.4	8.8	7.6	15.4

El rentat d'embuts i de la deposició global són del 3-11-94 al 25-6-96 per LC i del 23-1-95 al 25-6-96 per RSP.

Taula 5.5. Percentatge que els aportes d'escolament cortical representen sobre el trascol total (trascol+escolament cortical).

	Alcalinitat	H ⁺	P-PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	F ⁻	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
% d'escolament												
cortical												
LC	3.5	2.4	2.2	2.7	-	2.57	1.6	2.2	0.25	2.4	2.4	3.3
RP	5.6	8.6	3.6	6.4	0.20	6.9	5.7	5.3	7.5	6.9	6.8	6.0

Les dades utilitzades en el cas de l'escolament cortical i del trascol són de desl 6-6-95 al 25-6-96.

A la taula 5.3 s'observa que els aportats que arriben en forma d'escolament cortical al sòl del bosc són molt petits respecte als que arriben en forma de trascol. Per valorar la importància relativa d'aquest aportats, vam calcular el percentatge que l'escolament cortical representa sobre el trascol total (entès com escolament cortical més trascol) que es troben detallats a la taula 5.5 En aquesta taula es veu com, en efecte, la importància relativa dels aportats d'escolament cortical és baixa per tots els casos, i que és menor a LC (tots els percentatges són menors a 3.6%) que per RP (tots inferiors a 8.6%).

5.3.3 Acidesa de la deposició global, el trascol i l'escolament cortical

A la taula 5.6 es donen els valors mitjans de pH calculats tal com s'explica a l'apartat 2.6. S'observa com el trascol és clarament més bàsic que la deposició global a les dues zones i l'escolament cortical pràcticament no presenta diferències amb el trascol a LC, però a RP és lleugerament més àcid.

Taula 5.6. Valors del pH pels tres fluxos a ambdues zones.

	La Castanya			Riera de Sant Pere		
	Deposició global	Trascol	Escolament cortical	Deposició global	Trascol	Escolament cortical
pH	6,58	7,17	7,18	6,49	7,33	7,25
n	56	52	34	56	50	39

Per la deposició global i el trascol s'ha considerat el període entre el 23-1-95 i el 25-6-96 i per l'escolament cortical entre el 6-6-95 i el 25-6-96.

Si comparem les dues zones, veiem que la deposició global resulta lleugerament més àcida a RP, contràriament a l'observat en el trascol i l'escolament cortical que tenen un caràcter més bàsic a RP.

A la figura 5.3 es mostra la distribució dels pHs setmanals en la deposició global, el trascol i l'escolament cortical d'ambdues zones. En tots els casos, la major part de setmanes es concentren en una banda intermitja de pH. Tanmateix, la distribució dels pHs setmanals del trascol i l'escolament cortical

està desplaçada cap a valors lleugerament més bàsics. S'observen també diferències en l'amplitud del rang dels pH, de manera que la deposició global té un rang més ampli que el trascal, i encara més que l'escolament cortical.

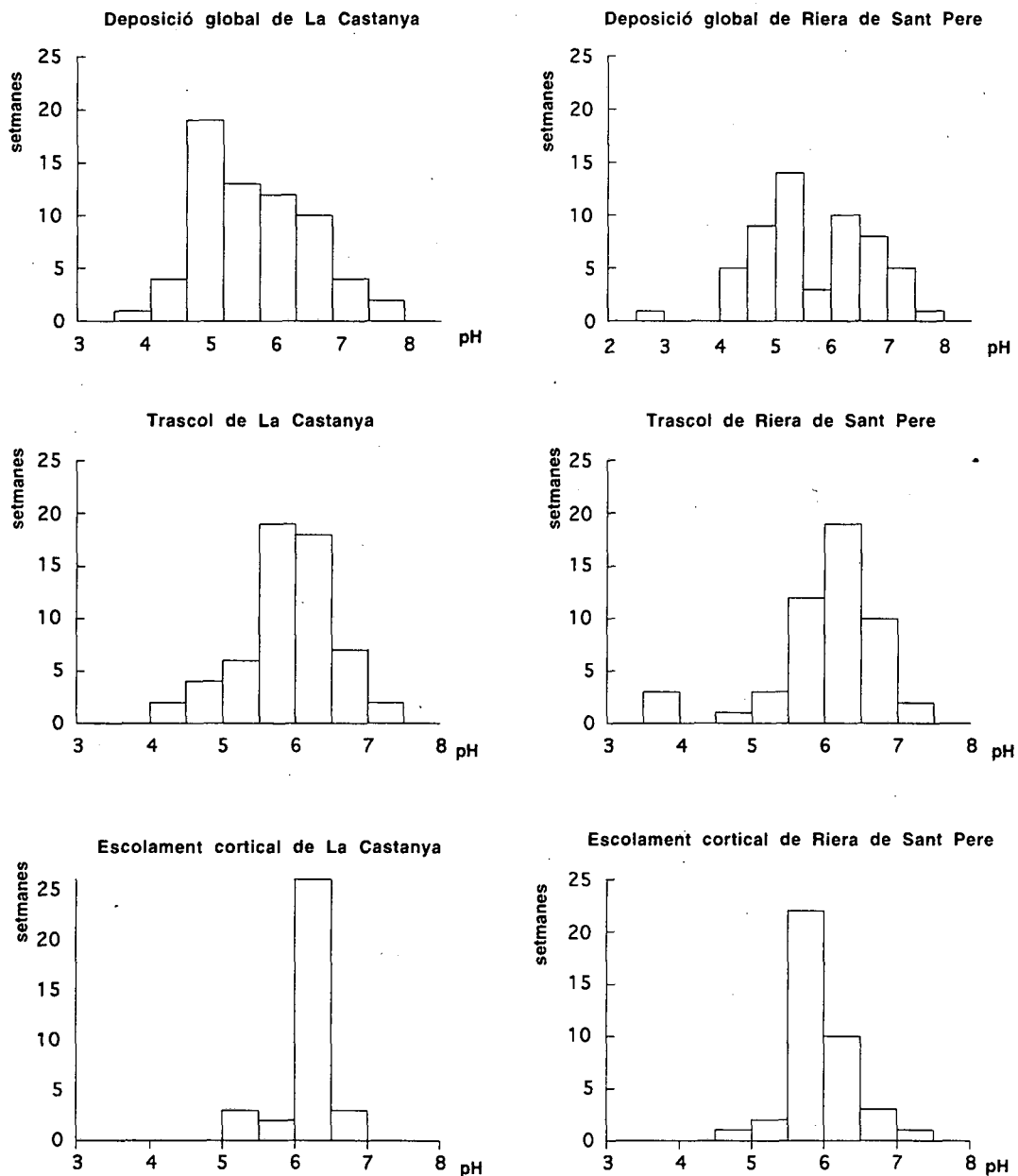


Figura 5.3 Distribucions dels pHs setmanals de la deposició global, el trascal i l'escolament cortical per ambdues zones. Les dades de deposició global i trascal comencen el 3/11/94 per LC, i el 23/1/95 per RP, en el cas de l'escolament cortical el 6-6-95 per les dues zones, en tots els casos finalitzant el 25-6-96

Els valors francament àcids ($\text{pH} < 4.5$) abunden més a la deposició global que al trascol, passant de 5-6 observacions de $\text{pH} < 4.5$ a la deposició global a 2-3 observacions d'aquest mateix rang de pH al trascol (figura 5.3). En l'escolament cortical de les dues zones no s'han registrat valors de pH tan clarament àcids.

Resumint podem dir que la precipitació, el trascol i l'escolament cortical del nostre estudi tenen globalment caràcter alcalí, però es troben episodis de pluja i de trascol àcids, els quals abunden més a la deposició global que al trascol, indicant l'efecte neutralitzador de la capçada.

5.3.4 Diferències entre zones en les concentracions iòniques i els aportats de la precipitació en travessar la capçada

Les diferències en la composició química i els aportats de la deposició global i l'escolament cortical entre LC i RP es van testar mitjançant test t-students de dades aparellades i de dues cues. Es van prendre els respectius valors setmanals de les variables a comparar com a rèpliques aparellades.

En el cas del trascol, la mateixa comparació es va fer mitjançant un ANOVA amb la zona com factor i com a rèpliques de les diferents variables, els valor mitjans ponderats per volum de tot el període o bé els seus aportats anuals per parcel·la. Es van transformar les dades com a $\log(x+1)$ en tots els tests. (veure apartat 2.5).

En aquestes comparacions no s'han inclòs els ions PO_4^{3-} i F^- , ja que en moltes setmanes no foren detectats en algun dels tres fluxos, en especial en el de la deposició global.

Els resultats, resumits a les taules 5.7 i 5.8, mostren la zona on ha estat superior el valor testat, el grau de significació, i el número de parelles (n) en el cas de la t de student, i de rèpliques en el cas de l'ANOVA, utilitzades en l'anàlisi estadístic. Per calcular els nivells de significació es va aplicar el mètode seqüencial de Bonferroni a cada una de les taules (veure apartat 2.5).

Taula 5.7. Resultats de les comparacions de la conductivitat i de les concentracions dels elements senyalats, entre les dues zones d'estudi, mitjançant t-students de dades aparellades per la deposició global (DG) i l'escolament cortical (EC) i mitjançant anàlisi de la variància pel trascol (TR) (veure text). S'indica en cada cas, quina zona va registrar el valor més alt (RP>LC o LC>RP), seguidament hi ha indicat el valor del nivell de significació (*0.05, **0.01, ***0.001, ****0.0001) corregit amb el mètode seqüencial de Bonferroni (text). Si no és significatiu s'indica com ns, i ms indica marginalment significatiu: 0.05<p<0.10.

	Deposició		Trascol		Escolament	
	global	n		n	cortical	n
Conductivitat	RP>LC ns	55	RP>LC ns	4	RP>LC **	38
H ⁺	RP>LC ns	54	RP>LC ns	4	RP>LC *	38
Alcalinitat	LC>RP ns	48	RP>LC *	4	LC>RP ns	36
Cl ⁻	RP>LC ***	49	RP>LC ms	4	RP>LC **	36
SO ₄ ²⁻	RP>LC *	49	RP>LC *	4	RP>LC **	36
NO ₃ ⁻	RP>LC ns	49	RP>LC **	4	RP>LC ***	36
NH ₄ ⁺	RP>LC ns	49	RP>LC **	4	RP>LC **	36
Ca ²⁺	RP>LC ns	49	RP>LC ns	4	RP>LC **	36
Mg ²⁺	RP>LC ns	49	RP>LC ns	4	RP>LC *	36
Na ⁺	RP>LC ns	49	RP>LC ms	4	RP>LC **	36
K ⁺	RP>LC ns	49	RP>LC ms	4	RP>LC **	36

n és el número de casos emprat en els anàlisis. Període del 23/1/95 al 25/6/96 per les mesures de trascol i deposició global (DG). I període del 6/6/95 al 25/6/96 per les mesures de l'escolament cortical (EC). Els valors mitjans de conductivitat (en µS/cm a 25°C) i concentració (µeq/L) estan a la taula 5.1.

Els resultats de la taula 5.7, comparant les concentracions iòniques de les dues zones, mostren que aquestes són sempre superiors a RP pels tres fluxos, amb l'única excepció de l'alcalinitat a la deposició global i a l'escolament cortical. Tanmateix, en molts casos aquestes diferències no són significatives. Així per la deposició global només ha resultat significativa la major concentració de Cl⁻ i de SO₄²⁻ a RP. La conductivitat, alcalinitat i concentracions iòniques presenten un valor de trascol superior a RP, però aquest només resulta significatiu per l'alcalinitat i per les concentracions de SO₄²⁻, NO₃⁻ i NH₄⁺. Per l'escolament cortical les concentracions de Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ i K⁺ foren significativament superiors a RP.

Taula 5.8. Resultats de les comparacions entre les dues zones d'estudi en els aportats dels diferents elements. Les comparacions s'han fet mitjançant t-students de dades aparellades per la deposició global i l'escolament cortical i mitjançant anàlisi de la varianza pel trascol (veure text S'indica en cada cas, quina zona va registrar el valor més alt (RP>LC o LC>RP), seguidament hi ha indicat el valor del nivell de significació (*0.05, **0.01, ***0.001, ****0.0001) corregit amb el mètode seqüencial de Bonferroni (text). Si no és significatiu s'indica com ns, i ms indica marginalment significatiu: $0.05 < p < 0.10$.

	Deposició		Trascol		Escolament				
	global	n		n	cortical	n			
H ⁺	RP>LC	ns	55	RP>LC	ns	4	RP>LC	**	34
Alcalinitat	LC>RP	ns	54	RP>LC	ns	4	RP>LC	ns	33
Cl ⁻	RP>LC	**	48	RP>LC	ns	4	RP>LC	****	34
S-SO ₄ ²⁻	LC>RP	ns	49	RP>LC	ns	4	RP>LC	***	34
N-NO ₃ ⁻	RP>LC	ns	49	RP>LC	**	4	RP>LC	****	34
N-NH ₄ ⁺	LC>RP	ns	49	RP>LC	**	4	RP>LC	***	33
Ca ²⁺	LC>RP	ns	49	RP>LC	ns	4	RP>LC	***	34
Mg ²⁺	LC>RP	ns	49	RP>LC	ns	4	RP>LC	***	34
Na ⁺	LC>RP	ns	49	RP>LC	ns	4	RP>LC	***	34
K ⁺	RP>LC	ns	49	RP>LC	ns	4	RP>LC	***	34

n és el número de casos emprats en els anàlisis. Període del 23/1/95 al 25/6/96 per les mesures de trascol i deposició global (DG). I període del 6/6/95 al 25/6/96 per les mesures de l'escolament cortical (EC).

A la taula 5.8 es mostren els resultats dels tests que comparen les diferències en els aportats entre ambdues zones. Els aportats setmanals a la deposició global d'alcalinitat, SO₄²⁻-S, NH₄⁺-N, Ca²⁺, Mg²⁺ i Na⁺ són majors a LC que a RP, mentre que en la resta de casos hem trobat valors superiors a RP. Cap d'aquestes diferències però són significatives. Al trascol, tots els aportats són superiors a RP que a LC, però les diferències només són significatives pel NO₃⁻-N, NH₄⁺-N. Els aportats en forma d'escolament cortical són superiors a RP en tots els casos i, excepte per l'alcalinitat, les diferències són totes significatives.

5.3.5 Variabilitat mensual de la deposició atmosfèrica

S'han representat en gràfics conjunts els aportos mensuals en la deposició global, trascol, escolament cortical i trascol net, a les següent figures per a LC: H^+ (Fig. 5.4 a), alcalinitat (Fig. 5.4 b), Cl^- (Fig. 5.4 c), F^- (Fig. 5.4 d), SO_4^{2-} -S (Fig. 5.4 e), PO_4^{3-} -P (Fig. 5.4 f), NO_3^- -N (Fig. 5.4 g), NH_4^+ -N (Fig. 5.4 h), Ca^{2+} (Fig. 5.4 i), Mg^{2+} (Fig. 5.4 j), Na^+ (Fig. 5.4 k), K^+ (Fig. 5.4 l) i per RP a: H^+ (Fig. 5.5 a), alcalinitat (Fig. 5.5 b), Cl^- (Fig. 5.5 c), F^- (Fig. 5.5 d), SO_4^{2-} -S (Fig. 5.5 e), PO_4^{3-} -P (Fig. 5.5 f), NO_3^- -N (Fig. 5.5 g), NH_4^+ -N (Fig. 5.5 h), Ca^{2+} (Fig. 5.5 i), Mg^{2+} (Fig. 5.5 j), Na^+ (Fig. 5.5 k), K^+ (Fig. 5.5 l). Finalment a la figura 5.6 s'ha representat, també per mesos, la quantitat de precipitació recollida a ambdues zones.

Fins al Juny del 1995 no es disposaven de valors d'escolament cortical i, per tant, en el càlcul del trascol net anterior a aquesta data no es considera l'escolament cortical. Es constata però, (figures 5.4 i 5.5 i taula 5.5) que per totes les variables químiques considerades a les dues zones i per tots els mesos, els aportos de l'escolament cortical respecte els de trascol tenen molt poca importància relativa. L'error que es comet doncs, quan ometem l'escolament cortical en el càlcul del trascol net d'aquests primers mesos és negligible.

A les figures 5.4 i 5.5 s'observa que tots els elements presenten grans variacions entre mesos en els aport de tots els fluxos representats. En el cas de l'escolament cortical les variacions entre mesos també són molt acusades però al haver-se representat tots els aportos en la mateixa escala la variació no queda ben reflectida a la gràfica. Segons la relació entre aquestes variacions mensuals dels aportos i les variacions de la precipitació (figura 5.6) es poden establir tres grups.

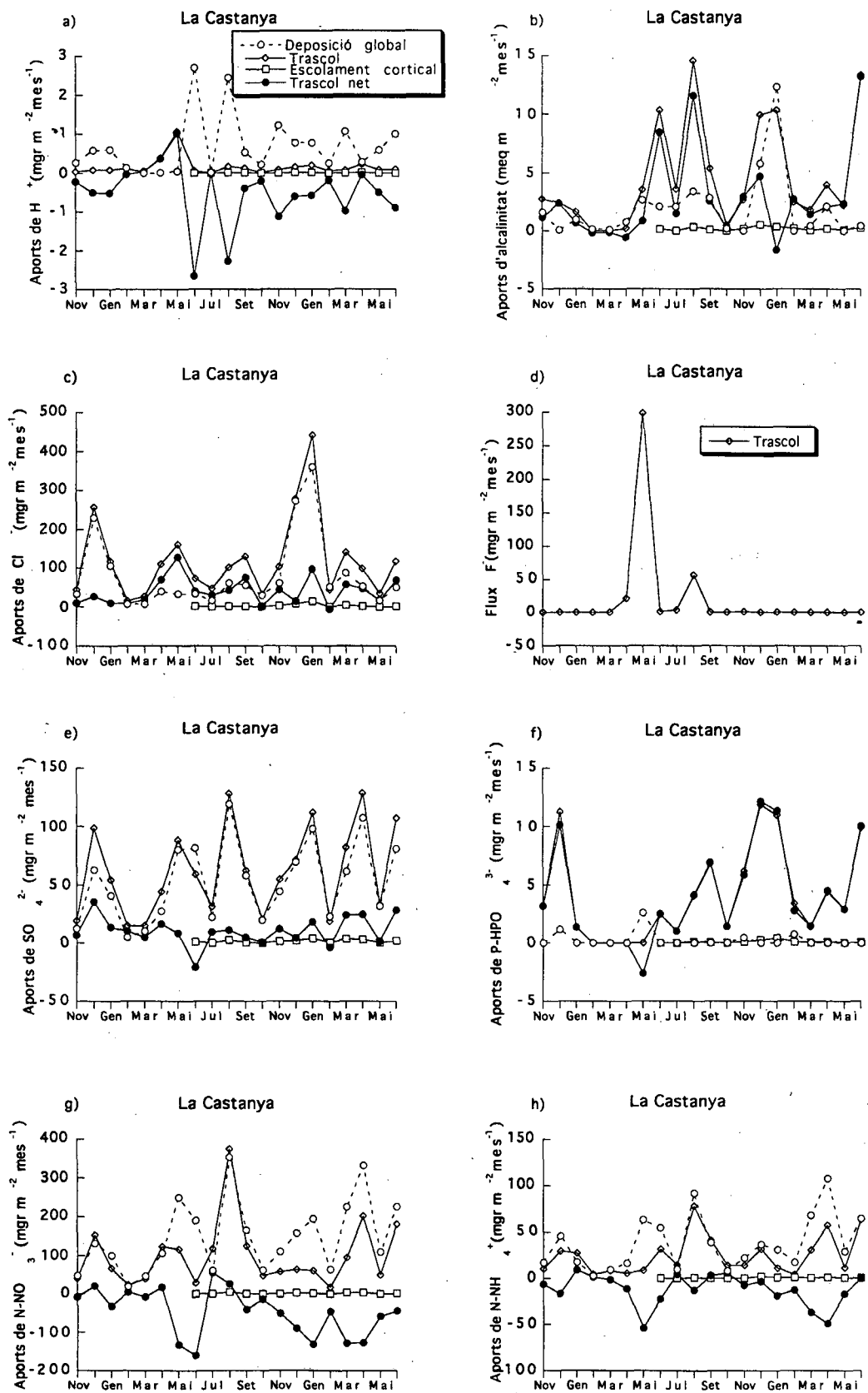


Figura 5.4 Aports mensuals a LC

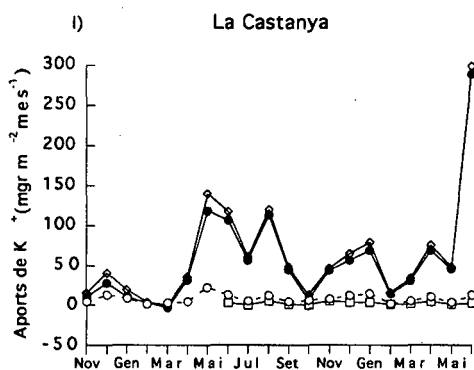
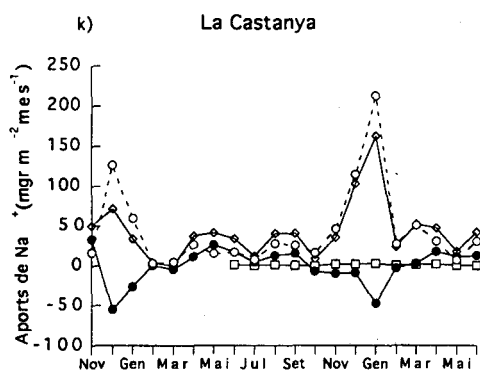
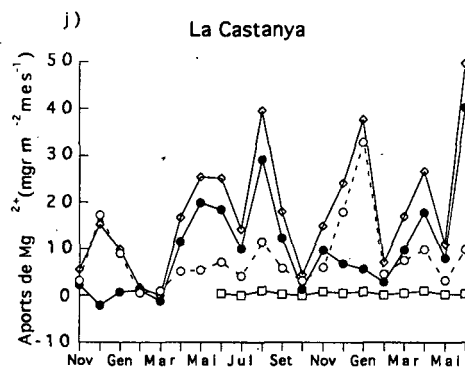
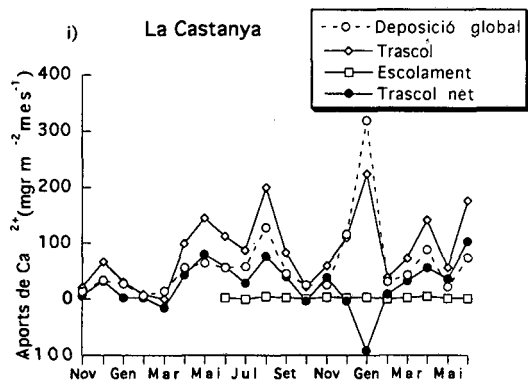


Figura 5.4 Aports mensuals a LC.

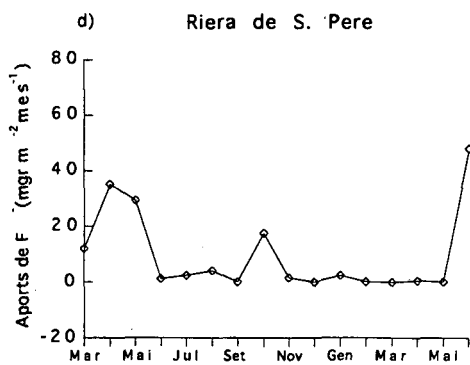
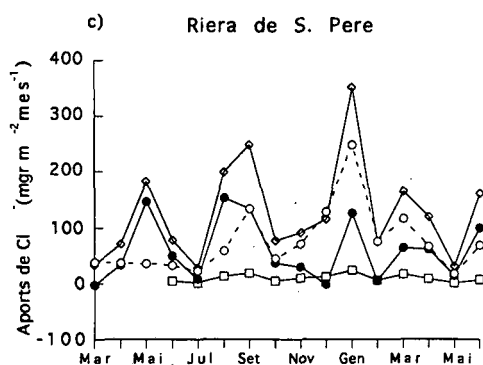
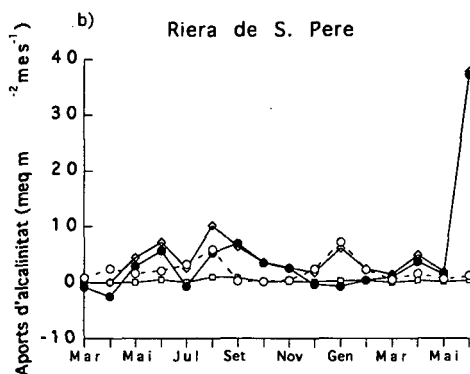
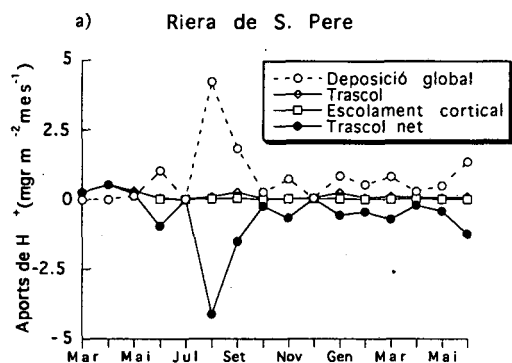


Figura 5.5 Aports mensuals a RP

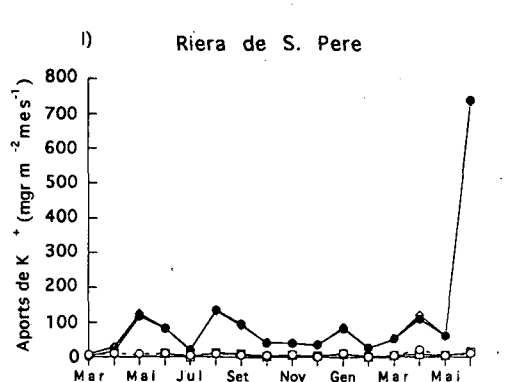
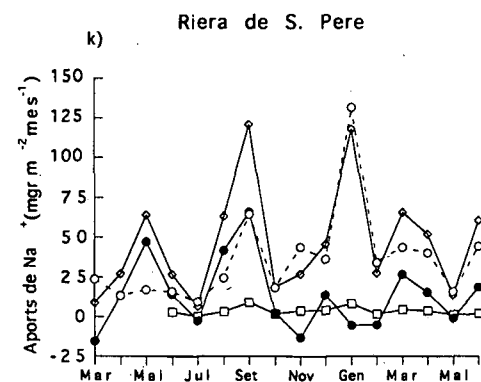
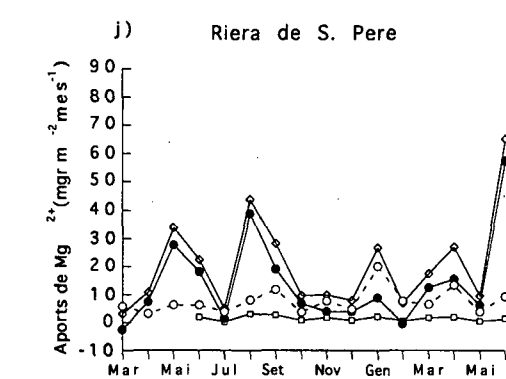
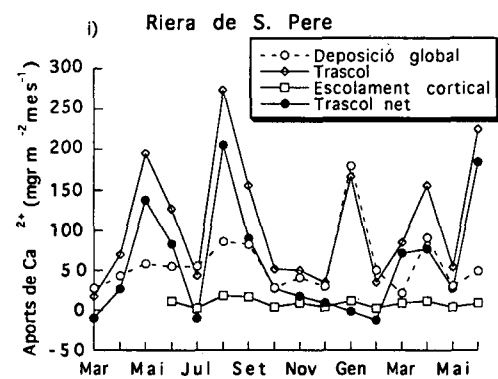
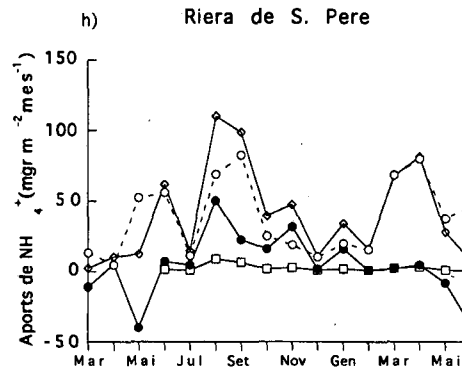
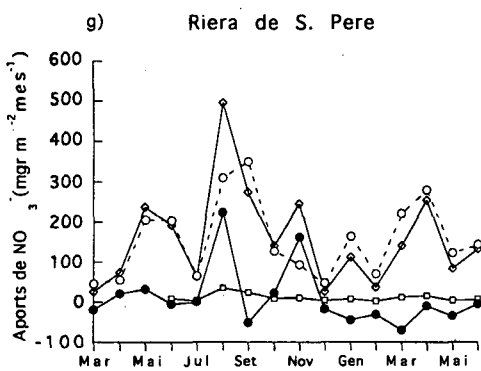
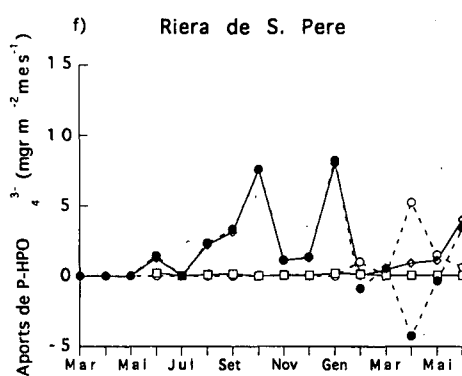
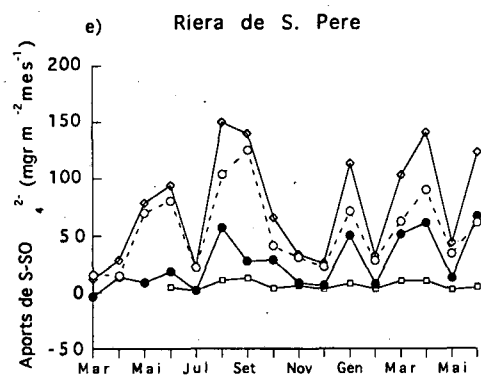


Figura 5.5 Aports mensuals a RP

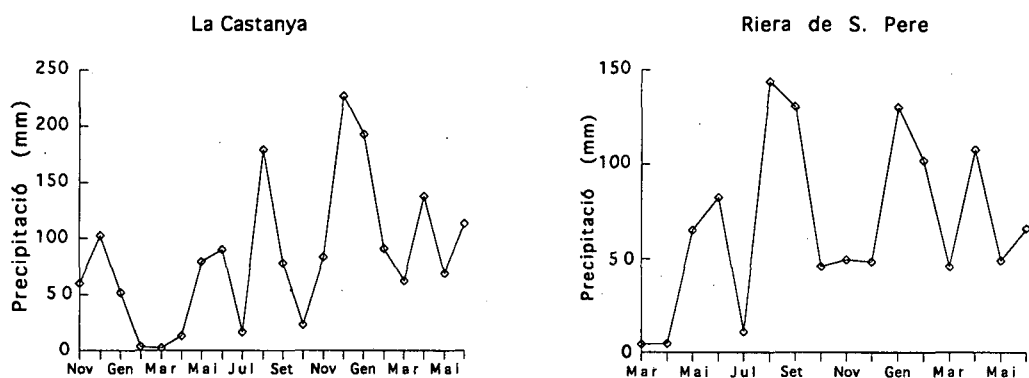


Fig 5.6 Volum de precipitació mensual (mm) registrat a ambdues zones.

El primer grup comprendria els elements, els aportes dels quals presenten variacions mensuals (especialment en forma de deposició global) coincidents en sentit i magnitud, amb les del volum de precipitació (figura 5.6). Probablement els aportes de $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ són els que adopten més clarament aquest comportament, però en menor mesura també ho fan els de Cl^- , $\text{NO}_3^-\text{-N}$, Ca^{2+} , Na^+ i alcalinitat. A més per aquests 6 casos, les línies de la deposició global i del trascol coincideixen en els pics, de manera que hi ha un cert paral·lelisme en el sentit de la variació d'aquests dos fluxos entre mesos, si bé no en la seva magnitud. De fet la diferència en magnitud dels aportes mensuals de $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$, Cl^- , $\text{NO}_3^-\text{-N}$, Ca^{2+} , Na^+ i alcalinitat en la deposició global respecte al trascol implica un patró de variació dels aportes en el trascol net que ja no coincideix amb les fluctuacions del volum de precipitació i que és també molt variable al llarg de l'any.

En un segon grup hi ha els aportes de H^+ , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ i F^- (en aquests dos darrers casos únicament s'observa bé en el trascol), la variació dels quals no coincideix amb la del volum de precipitació i no semblen presentar cap patró temporal interpretable. En el cas de l' H^+ i el $\text{NH}_4^+\text{-N}$ no sembla haver relació temporal entre les variacions dels aportes en forma del trascol i les dels aportes de deposició global.

Finalment, els aportes K^+ i Mg^{2+} (figura 5.4 j i l i 5.5 j i l) presenten també variacions mensuals pronunciades a la deposició global i força relacionades amb les variacions mensuals de la precipitació. En el cas del K^+ aquestes

variacions no són prou visibles a la gràfica degut a que l'escala utilitzada no ho permet identificar visualment. La gran diferència amb la resta d'ions rau en una sèrie de pics dels aportes de trascol, clarament marcats a ambdues zones i que no coincideixen necessàriament amb pics de precipitació. A més els aportes nets de Mg^{2+} i especialment de K^+ en el trascol són molt superior als de deposició global, el que provoca que el trascol net (obtingut com la suma dels aportes de trascol i escolament cortical menys els de deposició global) tingui variacions simètriques a les del trascol.

A les dues zones, molts dels elements analitzats (H^+ , alcalinitat, PO_4^{3-} -P, SO_4^{2-} -S, NO_3^- -N, NH_4^+ -N, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) presenten mesos amb trascol net negatiu, és a dir, les quantitats inicials presents a la deposició global han disminuït en passar per la capçada. A LC, i en menor mesura a RP, els aportes nets de N tant en forma de NO_3^- com de NH_4^+ presenta diversos mesos amb valors negatius en diversos mesos (figura 5.4 g i h i 5.5 g i h) Recordem que els aportes anuals nets de NO_3^- -N i NH_4^+ -N són positius a RP i negatius a LC (taula 5.3). Si comparem les gràfiques corresponents a l' NH_4^+ -N i al K^+ per cada zona (figures 5.4 h i l i 5.5 h i l) s'observa una coincidència en el temps en els pics dels aportes nets negatius de NH_4^+ -N i els aportes nets positius de K^+ , i això no sembla estar associat a la quantitat de precipitació. L'única excepció a aquest patró és el mes de juny del 96 a LC, on tot i haver un pic de gran magnitud de trascol net positiu de K^+ coincidint amb una precipitació moderada, no s'enregistra un pic de trascol negatiu de NH_4^+ -N. També hi ha una certa coincidència de mesos amb aportes nets positius de K^+ , de Mg^{2+} i d'alcalinitat, la qual cosa és especialment marcada en Juny de 1996.

També a les dues zones s'observa un paral·lelisme molt marcat en la variació al llarg del temps dels aportes Cl^- i del Na^+ a la deposició global. Aquest paral·lelisme es manté de forma menys clara en el trascol. Així, els aportes de Cl^- del trascol són superiors als de la deposició global en pràcticament tots els mesos. En canvi, hi ha diversos mesos en els que els aportes de Na^+ del trascol són inferiors als de la deposició global. Com a conseqüència, els aportes de trascol net d'aquests dos ions no presenten cap paral·lelisme.

En el mostreig del 22 i 29 de gener de 1996, es va detectar de forma visual restes de pluges de fang als col·lectors de deposició global. Aquest fet

coincideix amb elevats aportes a la deposició global d'alcalinitat, Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} i Cl^- en el mes de Gener de 1996.

5.3.6 Relacions iòniques

Per tal de determinar les possibles relacions en les variables químiques i el volum per als 3 fluxos analitzats (deposició global, trascol i escolament cortical) es va calcular una matriu de correlació per cada fluxe i per zona amb les següents variables: valors setmanals de conductivitat (en $\mu\text{S cm}^{-1}$), de volum d'aigua (en mm) i d'alcalinitat i de concentració de: H^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ i K^+ (en $\mu\text{eq L}^{-1}$). Es van recalcular els nivells de significació amb el mètode seqüencial de Bonferroni tal com s'explica a l'apartat 5.2.6.

La matriu de correlació corresponent a les variables de la deposició global d'ambdues zones es troba a la taula 5.9, la del trascol a la taula 5.10 i la de l'escolament cortical a la taula 5.11.

Per interpretar millor aquestes matrius de correlació, es van realitzar uns anàlisis de components principals (ACP) amb les mateixes variables utilitzades per calcular aquestes matrius (apartat 5.2.6). Obtenim doncs, un ACP per la deposició global, un pel trascol, i un per l'escolament cortical a LC i el mateix a RP, que es mostren a les figures 5.6, 5.7 i 5.8 respectivament.

Taula 5.9. Matriu dels coeficients de correlació del volum (mm), de la conductivitat ($\mu\text{S/cm}$) i de l'alcalinitat i les concentracions dels ions indicats ($\mu\text{eq/L}$) a la deposició global d'ambdues zones. Els valors que estan per sobre de la diagonal corresponen a la zona de LC i els de sota a la zona de RP. En el cas de LC Inclou 62 setmanes, excepte per alcalinitat amb 53, del període comprès entre el 3-11-94 i el 25-6-96. En el cas de RP inclou 51 setmanes, excepte per alcalinitat amb 43, del període comprès entre el 23-1-95 i el 25-6-96. En negreta s'indiquen les correlacions significatives, que es van cacular aplicant la correcció amb el mètode seqüencial de Bonferroni (veure text).

RP/LC	Volum	Conductivitat	H ⁺	Alcalinitat	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Volum	-0.351		-0.017	-0.090	-0.102	-0.411	-0.411	-0.323	-0.264	-0.243	-0.085	-0.320
Conductivitat	-0.424		0.008	0.251	0.621	0.927	0.907	0.617	0.737	0.766	0.660	0.502
H ⁺	-0.101	0.012		-0.263	-0.116	-0.056	-0.076	-0.064	-0.229	-0.15	-0.069	-0.122
Alcalinitat	-0.176	0.496	-0.307		0.230	0.211	0.131	0.056	0.741	0.472	0.197	0.158
Cl ⁻	-0.309	0.828	-0.150	0.278		0.440	0.414	0.076	0.613	0.878	0.948	0.260
SO ₄ ²⁻	-0.545	0.867	0.015	0.400	0.543		0.943	0.718	0.683	0.622	0.452	0.601
NO ₃ ⁻	-0.536	0.742	-0.014	0.306	0.386	0.882		0.774	0.628	0.586	0.423	0.552
NH ₄ ⁺	-0.337	0.654	0.029	0.315	0.368	0.706	0.726		0.201	0.159	0.068	0.348
Ca ²⁺	-0.437	0.708	-0.353	0.816	0.535	0.611	0.590	0.336		0.846	0.621	0.435
Mg ²⁺	-0.359	0.861	-0.177	0.630	0.782	0.656	0.534	0.595	0.741		0.907	0.410
Na ⁺	-0.252	0.781	-0.123	0.365	0.943	0.445	0.259	0.352	0.510	0.832		0.244
K ⁺	-0.349	0.606	-0.193	0.416	0.564	0.590	0.591	0.532	0.620	0.673	0.470	

Taula 5.10. Matriu dels coeficients de correlació del volum (mm) la conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i de l'alcalinitat i les concentracions dels ions indicats ($\mu\text{eq}/\text{L}$) al trascol. Els valors que estan per sobre de la diagonal corresponen a la zona de LC i els de sota a la zona de RP. Per LC s'inclouen 57 setmanes, excepte per alcalinitat amb 51 i 38 per PO_4^{3-} del període comprès entre el 3-11-94 i el 25-6-96. Per RP s'inclouen 49 setmanes, excepte per alcalinitat amb 46 i 25 per PO_4^{3-} . En negreta s'indiquen les correlacions significativa, que es van calcular aplicant la correcció amb el mètode seqüencial de Bonferroni (veure text).

RP/LC	Volum	Conduc	Alcalinitat	H ⁺	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Volum		-0.412	-0.152	-0.190	-0.289	-0.383	-0.479	-0.295	-0.327	-0.354	-0.397	-0.331	-0.283
Conduc	-0.457		0.365	0.358	0.700	0.796	0.847	0.869	0.515	0.913	0.936	0.517	0.663
Alcalinitat	0.076	-0.047		-0.223	0.778	0.002	0.021	0.125	0.747	0.282	0.480	-0.104	0.801
H ⁺	-0.226	0.834	-0.179		-0.102	0.438	0.485	0.222	0.001	0.311	0.321	0.459	0.13
PO ₄ ³⁻	-0.316	0.795	-0.094	-0.141		0.299	0.296	0.006	0.834	0.389	0.713	0.178	0.822
Cl ⁻	-0.437	0.874	-0.174	0.741	0.745		0.822	0.621	0.132	0.704	0.701	0.821	0.303
SO ₄ ²⁻	-0.519	0.868	-0.177	0.743	0.848	0.847		0.713	0.347	0.688	0.689	0.548	0.337
NO ₃ ⁻	-0.511	0.892	-0.033	0.630	0.675	0.789	0.762		0.328	0.902	0.813	0.387	0.381
NH ₄ ⁺	-0.586	0.624	-0.123	0.351	0.643	0.545	0.727	0.786		0.318	0.502	-0.013	0.692
Ca ²⁺	-0.409	0.942	-0.062	0.757	0.813	0.893	0.840	0.844	0.559		0.954	0.570	0.610
Mg ²⁺	-0.411	0.951	-0.045	0.796	0.810	0.912	0.870	0.845	0.570	0.989		0.573	0.773
Na ⁺	-0.386	0.872	-0.210	0.768	0.810	0.961	0.874	0.749	0.559	0.925	0.940		0.175
K ⁺	-0.268	0.821	0.256	0.646	0.552	0.693	0.711	0.685	0.398	0.827	0.862	0.721	

Taula 5.11. Matriu de correlacions del volum (mm) la conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i de l'alcalinitat i les concentracions dels ions indicats ($\mu\text{eq}/\text{L}$) a l'escolament cortical. Els valors que estan per sobre de la diagonal corresponen a la zona de LC i els de sota a la zona de RP. Per LC s'inclouen 33 setmanes del període comprès entre el 6-6-95 i el 25-6-96 i per RP 36 setmanes del mateix període. En negreta s'indiquen les correlacions significatives, que es van calcular aplicant la correcció amb el mètode seqüencial de Bonferroni (veure text).

RP/LC	Volum	Conduc.	H ⁺	Alcalinitat	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Volum		-0.484	-0.127	-0.338	-0.077	-0.092	-0.534	-0.416	-0.335	-0.520	-0.471	-0.484	-0.383
Conductivitat	-0.613		0.108	0.827	0.812	0.571	0.791	0.713	0.889	0.832	0.898	0.654	0.871
H ⁺	-0.080	0.374		0.072	0.012	0.049	-0.001	-0.037	0.005	-0.020	-0.031	0.014	0.014
Alcalinitat	-0.114	0.246	-0.241		0.848	0.243	0.503	0.515	0.914	0.830	0.913	0.391	0.961
PO ₄ ³⁻	-0.472	0.733	0.412	-0.120		0.346	0.496	0.427	0.927	0.674	0.809	0.359	0.876
Cl ⁻	-0.472	0.733	0.412	-0.120	0.090		0.685	0.472	0.331	0.400	0.381	0.666	0.290
SO ₄ ²⁻	-0.553	0.899	0.210	0.331	-0.205	0.484		0.729	0.602	0.679	0.713	0.767	0.607
NO ₃ ⁻	-0.513	0.945	0.434	0.064	-0.180	0.740	0.280		0.579	0.688	0.685	0.544	0.606
NH ₄ ⁺	-0.464	0.901	0.316	0.270	-0.149	0.527	0.949	0.820		0.793	0.913	0.446	0.954
Ca ²⁺	-0.485	0.801	0.083	0.482	-0.162	0.492	0.858	0.681	0.789		0.941	0.741	0.864
Mg ²⁺	-0.526	0.852	0.113	0.441	-0.179	0.552	0.898	0.751	0.832	0.980		0.623	0.963
Na ⁺	-0.463	0.572	0.296	-0.017	0.085	0.764	0.411	0.532	0.380	0.601	0.608		0.492
K ⁺	-0.382	0.512	-0.141	0.773	-0.195	0.217	0.497	0.355	0.393	0.753	0.717	0.383	

5.3.6.1 Relacions iòniques a la deposició global

La figura 5.7 presenta la distribució de les variables en els eixos 1 i 2 en l'ACP aplicat al volum, conductivitat i concentracions de la deposició global. Per LC, el primer eix representa un 50.0% de la variabilitat i l'eix 2, un 18.5%. Per RP, el primer eix representa un 59.3 % i el segon un 14.0 %. A la taula 5.9. es presenta la corresponent matriu de correlació de les dues zones.

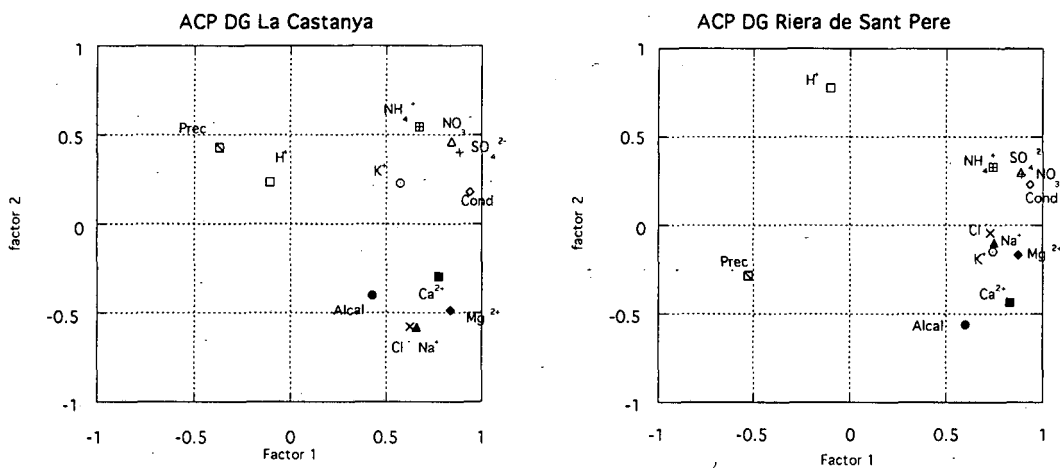


Figura 5.7 Distribució de les variables de la deposició global segons els eixos calculats pels ACPs (veure apartat 5.3.6.1).

L'eix 1 de la figura 5.7 a i b es pot interpretar com de càrrega iònica, ja que a la dreta de l'eix es situa tot un grup de variables que varia conjuntament. A RP aquesta relació és més consistent, ja que les variables estan més agrupades i en una posició més extrema en aquest primer eix. La conductivitat és la variable més representativa de l'eix ja que pren la posició més extrema. L'alcalinitat és la que mostra menys dependència d'aquest comportament, en especial a LC, però també a RP. Això és coherent amb el fet que les correlacions de l'alcalinitat amb els altres ions siguin menors a LC que a RP (taula 5.9). A més, a RP hi ha una correlació positiva i significativa entre alcalinitat i conductivitat, en canvi en LC no.

El ió H^+ es troba situat molt a prop del 0 d'aquest primer eix, cosa que indica que la concentració de H^+ que es troba en una mostra és independent de la concentració en que es troben els altres elements. Tampoc cap de les correlacions entre la concentració d' H^+ i la resta de variables és significativa

(taula 5.9). El volum de precipitació té un comportament oposat al de les concentracions, és a dir observem concentració alta de la majoria d'elements preferentment en pluges de poc volum. Tantmateix aquest relació inversa és bastant feble ja que només les correlacions del volum de precipitació amb les concentracions de SO_4^{2-} i NO_3^- són significativament negatives. (taula 5.9)

El segon eix (figura 5.7 a i b) es pot interpretar com un eix de contaminació-alcalinitat. Així a la banda positiva trobem el SO_4^{2-} , el NO_3^- i el NH_4^+ , coincidint amb unes correlacions entre les tres variables molt altes i significatives (taula 5.9). Aquests tres ions es poden relacionar amb la influència de la contaminació (Liechty et al, 1993, Lovett, 1994, Ollinger et al, 1993, Parker, 1983, Pregitzer et al, 1992, Tanner, 1991). A LC, la concentració de NH_4^+ pren la posició més extrema, però a RP ho fa el ió H^+ . Cal remarcar però que les correlacions entre l' H^+ i el SO_4^{2-} , el NO_3^- i el NH_4^+ són molt baixes per ambdues zones (taula 5.9). A la part negativa de l'eix trobem el Cl^- i el Na^+ a LC, en canvi a RP aquest dos elements es troben prop del 0, i per tant resulten independents d'aquest eix; en canvi, l'alcalinitat és la que es situa a la part negativa més extrema de l'eix, que presenta un comportament oposat al SO_4^{2-} , el NO_3^- el NH_4^+ i l' H^+ . A LC l'alcalinitat també es troba a la part negativa però no en una posició tant extrema.

Resumint, el segon eix indicaria que part de la variabilitat es pot interpretar considerant que l'alcalinitat disminueix quan augmenten les concentracions de SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ . L'alcalinitat es troba molt relacionada amb el Ca^{2+} tant a LC com a RP i a LC també amb Mg^{2+} , el Cl^- i el Na^+ .

De forma global cal destacar que les concentracions de Cl^- i el Na^+ estan estretament relacionades entre si en tots dos eixos i presenten la correlació positiva més alta de totes les trobades a LC i a RP (taula 5.9). Per altra banda, el ió K^+ malgrat estar relacionat amb les altres variables tal com indica l'eix 1, la seva concentració presenta correlacions moderades amb totes les variables (taula 5.9).

5.3.6.2 Relacions iòniques al trascol

A la figura 5.8 es mostra la distribució de les variables en els ACPs aplicats a les variables del trascol de les dues zones. A LC, el primer eix

representa un 55.4% de la variabilitat, i el segon un 19.7%. A RP, el primer eix representa un 70.3% i el segon un 10.3%.

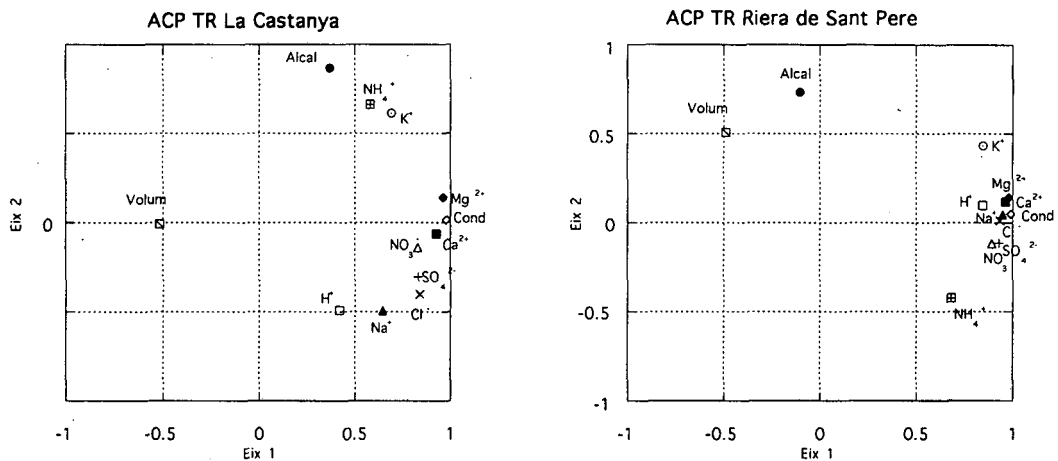


Figura 5.8 Distribució de les variables del trascor segons els eixos calculats pels ACPs (veure apartat 5.3.6.2).

El primer eix l'interpretem com de càrrega iònica, igual que a la deposició global. A l'extrem positiu es situen la majoria de les variables, excepte el volum (a les dues zones) i l'alcalinitat (a RP). Tal com passava a la deposició global, la conductivitat és la variable que defineix millor l'eix, ja que té la posició més extrema i un comportament absolutament independent respecte al segon eix. A RP les variables de la part positiva de l'eix es situen de forma més compacte i en una posició més extrema que a LC. En consonància, els coeficients de correlació entre la conductivitat i aquestes variables tenen valors superiors a RP que a LC (veure taula 5.10). El fet que el volum es trobi a la part negativa de l'eix indica que els majors valors de concentració i conductivitat coincideixen amb mostres de poc volum i viceversa. Cal remarcar però que aquesta tendència no és molt forta, per exemple només algunes de les correlacions entre el volum i les concentracions dels diferents elements són significativament negatives (taula 5.10). A RP, l'alcalinitat és independent d'aquest primer eix, i no presenta cap correlació significativa amb cap de les altres variables (taula 5.10).

El segon eix es pot interpretar senzillament com d'alcalinitat. La part positiva indicaria aquelles variables que varien de forma paral·lela a l'alcalinitat i a la part negativa les que ho fan de forma oposada. A LC, l'alcalinitat té una relació positiva i clara amb el K^+ i NH_4^+ , i també positiva però molt menys forta amb el Mg^{2+} (taula 5.10). A LC l'alcalinitat té correlacions negatives (encara que

no significatives, taula 5.10) amb la concentració d' H^+ i Na^+ . A RP l'alcalinitat té també una relació positiva amb el K^+ , encara que més dèbil, en canvi el NH_4^+ troba a la part negativa (tot i que la seva correlació negativa no és significativa, taula 10) en contrast amb el que passava a LC.

Resumint es pot dir que la major part de la variabilitat s'explica per la variació conjunta de la majoria de concentracions en relació inversa a la variació del volum de trascol. L'alcalinitat, però, resulta independent a aquest comportament a les dues zones (més clarament a RP), així com la concentració d' H^+ a LC. A LC l'alcalinitat es relaciona positivament amb les concentracions de K^+ i NH_4^+ i negativament amb H^+ , Na^+ i Cl^- . A RP es detecta, en canvi, una certa relació positiva entre l'alcalinitat, K^+ i volum de trascol i negativa amb la concentració de NH_4^+ .

Cal destacar finalment que contrastant clarament amb el que succeix a la deposició global, hi ha una pèrdua de la relació entre l'alcalinitat i el Ca^{2+} , i que el K^+ sembla tenir una relació positiva amb l'alcalinitat a ambdues zones, així com també l'amoni a LC. Es manté, encara que de forma menys robusta la relació entre el Cl^- i el Na^+ .

5.3.6.3 Relacions iòniques a l'escolament cortical

A la figura 5.9 a i b es mostra la distribució de les variables usades en l'ACP de l'escolament cortical. Com en els casos anteriors, l'ACP s'ha aplicat a les concentracions iòniques, a l'alcalinitat, a la conductivitat i a al volum setmanal de l'escolament cortical. A LC, el primer eix representa un 62.6 % de la variabilitat, i el segon un 12.5%. A RP, el primer eix representa un 58.0% i el segon un 15.6%.

De la mateixa manera que a la deposició global i al trascol, el primer eix es pot definir com un eix de càrrega iònica (figura 5.9 a i b), amb la major part de les variables a la part positiva (essent la conductivitat una de les més representatives) i oposades al volum d'escolament cortical. Això implica una relació inversa entre concentracions i el volum d'esfolament cortical. L'excepció a aquest comportament és l' H^+ que es comporta de forma totalment independent respecte aquest primer eix. De fet no hem trobat cap correlació significativa amb l' H^+ a cap de les dues zones (taula 5.11).

El segon eix es pot interpretar, a l'igual que pel trascol, com d'alcalinitat. A la part positiva trobem l'alcalinitat, associada al K^+ i a l' NH_4^+ a LC i només al K^+ a RP, similarmet al decrit pel trascol. A la part oposada dels segón eix trobem als dos llocs el Cl^- , Na^+ i SO_4^{2-} . L'oposició de l'alcalinitat respecte el Cl^- i Na^+ també s'ha vist al trascol de LC i la de l'alcalinitat i el el SO_4^{2-} a la deposició global dels dos llocs. La posició de l' H^+ en aquest eix és aparentment sorprenent en ambdues zones, ja que a LC resulta independent de l'eix a diferència del que passava al trascol i a la deposició global. A RP varia de forma oposada a l'alcalinitat, similarmet al trobat a la deposició global de RP però no al trascol.

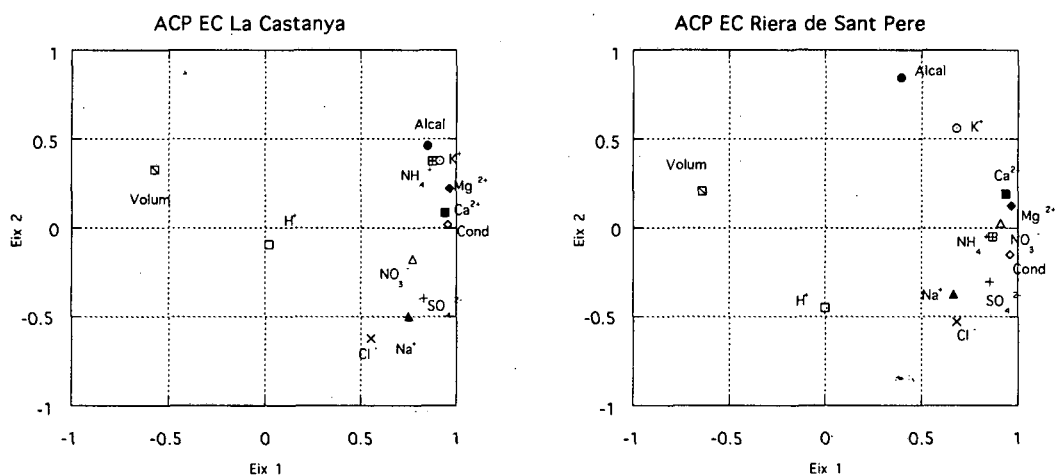


Figura 5.9 Distribució de les variables de la deposició global segons els eixos caculats pels ACPs (veure apartat 5.3.6.12).

Resumint, sembla que la distribució de les variables de l'escolament cortical, tal com passa al trascol i a la deposició global, es basa principalment en la càrrega iònica. Tantmateix la posició que les variables adopten en l'eix d'alcalinitat sembla barrejar trets dels ACPs del trascol i de la deposició global.

5.3.7 Relació entre el volum de precipitació i la deposició global.

Els elements presents a la deposició global provenen bé de la deposició humida, o bé de la deposició seca gravitatòria (Eaton et al, 1973, Parker, 1983). En general, es considera que elements present a la deposició humida provenen d'un transport de llarga distància per incorporació dels elements a les gòtules ("rainout") dels núvols en zones properes a les fonts d'emissió, però també

poden tenir un origen local quan els elements són incorporats a la pluja en la caiguda de les gotes ("washout") (Wolaver and Lieth, 1972, Rodà, 1983). Per altra banda es considera que els elements presents a la deposició seca gravitatòria provenen en general de fonts locals (Lovett, 1994, Kopáček et al, 1997, Rodà, 1983, Tanner, 1991). Per tant és d'esperar que al llarg d'una precipitació, no disminueixi la concentració en l'aigua de pluja dels elements presents a les gòtules dels núvols ("rainout") i per tant els aportats d'elements augmentin amb el volum de precipitació. En canvi, els elements rentats de l'atmosfera durant la precipitació ("washout") o aquells present per deposició gravitatòria disminueixen progressivament amb el rentat produït per la pluja, per tant la concentració al final de la precipitació, i en pluges de major volum, serà menor que en els primers mm de precipitació, i en pluges de menor volum. Per altra banda els aportats d'aquest element no augmentaran amb el volum de precipitació a partir del moment que s'hagi rentat la major part d'aquests elements.

Per determinar l'origen geogràfic de cada element proposem tres hipòtesis basades en el raonament del paràgraf anterior i en la relació que s'estableix entre el volum de precipitació i la concentració de cada element i entre el volum de precipitació i els aportats de l'element: 1) si el component es originat principalment per fonts locals, la concentració decreix i el flux es manté aproximadament constant, 2) si el component és originat per transport a llarga distància però també amb una important font local, la concentració és lleugerament decreixent i el flux augmenta, i 3) si el component es diposita majoritàriament per deposició humida i originat per transport a llarga distància ("rainout"), la concentració és constant i els aportats augmenten clarament (Kopáček et al, 1997).

Per tal de poder aplicar aquestes hipòtesis a les nostres dades hem calculat per ambdues zones una sèrie de regressions prenent com les respectives variables dependents els valors setmanals de deposició global de les concentracions iòniques, de l'alcalinitat i dels corresponents aportats. La precipitació setmanal es pren com variable independent. Els pendents de les rectes de regressió i els seus coeficients de correlació es presenten a la taula 5.12. S'observa en aquesta taula com no s'ha trobat cap ió que s'ajusti a la hipòtesi 1, és a dir, que tingui una font local majoritària. Que s'ajustin a la

hipòtesi 2 (origen local i a llarga distància en una importància semblant) hem trobat el SO_4^{2-} i NO_3^- , per LC i SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- i Na^+ , per RP. Que s'ajustin a la hipòtesi 3 (deposició humida com via majoritària i amb un origen llunyà) hem trobat: a LC el Cl^- , Na^+ , alcal, NH_4^+ , H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} i K^+ i a RP els mateixos excepte Cl^- , Na^+ .

Taula 5.12. Pendents de les rectes de regressió (b) entre la concentració ($\mu\text{eq/L}$) i els aportes ($\mu\text{eq m}^{-2}$) setmanals de la deposició global amb el seu volum en mm de pluja. S'inclouen també els seus coeficients de correlació (R). Les regressions no significatives s'indiquen amb ns.

	La Castanya				Riera de Sant Pere			
	conc.		aports		conc.		aports	
	b	R	b	R	b	R	b	R
H^+	0.01	0,02ns	5.1	0.39	0.07	0.10ns	14.1	0.62
Alcalinitat	-0.19	-0.12ns	24.5	0.51	-0,39	-0,18ns	21.4	0.43
Cl^-	-0.40	-0.20ns	28.2	0.72	-0.17	-0.31	19.8	0,56
SO_4^{2-}	-0.45	-0.41	22.6	0.77	-1.09	-0.54	27.8	0.72
NO_3^-	-0.46	-0.41	13.4	0.68	-0.93	-0,54	19.2	0.66
NH_4^+	-0.40	-0.32ns	17.3	0.60	-0,67	-0.34ns	21.6	0.56
Ca^{2+}	-0.40	-0.26ns	26.1	0.75	-1.40	-0.44	20.4	0.48
Mg^{2+}	-0.13	-0.27ns	6.5	0.71	-0.30	-0.36ns	4.59	0.61
Na^+	-0.29	-0,16ns	21.7	0.64	-0.58	-0.19ns	13.7	0.54
K^+	-0.04	-0.32ns	2.4	0.61	-0.21	-0.35ns	1.51	0.38

Per LC s'inclouen 62 setmanes per totes les variables excepte per alcalinitat que són 53, del període entre el 3-11-94 i el 25-6-96. Per RP s'inclouen 51 setmanes, excepte per alcalinitat que són 43 setmanes, pel període entre el 23-1-95 i el 25-6-96.

5.3.8 Relació entre el volum de precipitació i el trascol net.

Els aportes de trascol net (definites com la diferència entre aportes del trascol i els de l'escolament cortical menys els de la deposició global), seràn positius o negatius depenent del balanç entre tres processos: 1) la lixiviació d'elements interns de la fulla i/o branques, 2) el rentat de la deposició seca de partícules que impacten sobretot degut a la turbulència de l'aire provocada a les capçades i 3) l'bsorció d'elements per fulles i organismes epífits. Basant-nos en la relació entre el volum setmanal de trascol total (volum del trascol més el de l'escolament cortical) i els aportes de trascol net, podem establir tres hipòtesis

Taula 5.13. Pendants de les rectes de regressió (b) entre els aportes del trascol net ($\mu\text{eq m}^{-2}$) i el seu volum de pluja (mm de trascol + mm d'escolament cortical), s'adjunten també els coeficients de correlació correponents (R). Les regressions no significatives s'indiquen amb ns

	La Castanya		Riera de Sant Pere	
	b	R	b	R
H ⁺	-5.6	-0.34ns	-16,9	-0,58
Alcalinitat	28,5	0,48	73,8	0.38
Cl ⁻	-0.92	-0.06ns	1.1	0.03ns
F ⁻	203	0,30ns	-18,4	0,01ns
PO ₄ ³⁻	3,5	0,51	1.3	0.15ns
SO ₄ ²⁻	-1.3	-0.09ns	7.2	0.20ns
NO ₃ ⁻	-6,8	-0,39	-9.2	-0.26ns
NH ₄ ⁺	-6.3	-0.29ns	1.0	0.03ns
Ca ²⁺	-2.9	-0.07ns	11.7	0.15ns
Mg ²⁺	4.0	0.32ns	9.2	0.33ns
Na ⁺	-1.9	-0.08ns	3.6	0.13ns
K ⁺	13.7	0.39	62.6	0.39

Per LC s'inclouen 54 setmanes, excepte per PO₄³⁻ que són 45 i el F⁻ que són 10, pel període entre el 3-11-94 i el 25-6-96. Per RP s'inclouen 46 setmanes, excepte per PO₄³⁻ que són 32 setmanes i pel F⁻ que són 13, pel període entre el 23-1-95 i el 25-6-96. Fins al 5-6-96 en el càlcul del trascol net no s'inclou l'escolament cortical (veure text).

5.4 Discussió

5.4.1 Composició química de la deposició global

La deposició global registrada a ambdues zones es pot considerar clarament alcalina, i la incidència de pluges àcides ($\text{pH} < 4.5$) és molt minsa (un 4.8% de les setmanes a LC i un 10% a RP). S'ha vist que aquest fet es característic de zones circum-mediterrànies (Escarré et al, 1998, Loÿe-Pilot et al, 1990), i contrasta amb la situació més freqüent al centre i nord d'Europa i est de Nordamèrica on la precipitació és àcida (Likens et al, 1977, Lovett, 1994, Reuss and Johnson, 1986).

A la deposició global mostrejada a les nostres dues zones d'estudi, el SO_4^{2-} és l'anió, resultat habitual en la pluja al Ne i E de la península ibèrica (Àvila, 1989, Bellot and Escarré, 1991, Escarré et al, 1998, Carratalà, 1993, Piñol, 1990), i a altres parts del món (Eaton et al, 1973, Likens et al, 1990, Lovett, 1994, Mayer and Ulrich, 1972). El següent anió en abundància és el NO_3^- , després el Cl^- i amb valors molt més petits el PO_4^{3-} . El F^- ha resultat indetectable.

El Ca^{2+} i el NH_4^+ són els cations amb major concentració a la deposició global: a LC domina el Ca^{2+} i a RP el NH_4^+ . Per ambdues zones, el següent catió més abundant és el Na^+ . Finalment el Mg^{2+} i el K^+ presenten concentracions molt menors.

El fet que les concentracions de Ca^{2+} i NH_4^+ a la deposició global siguin elevades, ja que aquest cations contraresten les concentracions dels anions d'àcids forts (SO_4^{2-} NO_3^-), explica que la pluja a la nostra zona no sigui àcida.

Els valors de concentracions iòniques en el nostre estudi (taula 5.1), són lleugerament inferiors als d'altres estudis fets a la zona mediterrània (taula 5.14). Concretament, la conductivitat i les concentracions iòniques a la deposició global analitzada al nostre estudi a LC són inferiors als trobat per estudis fets a la mateixa zona en el període de 1983 a 1994 (Escarré et al, 1998) amb la excepció del NO_3^- i el NH_4^+ . Això és degut a un efecte de dilució, ja que durant el nostre estudi la quantitat de precipitació va ser clarament superior a la dels estudis amb que es compara (taula 5.3 i 5.15). Igualment el fet de trobar major deposició es pot interpretar per una major. Tantmateix, els aportos anuals de la deposició global trobats al nostre estudi (taula 5.3) en la major part dels

5.4 Discussió

5.4.1 Composició química de la deposició global

La deposició global registrada a ambdues zones es pot considerar clarament alcalina, i la incidència de pluges àcides ($\text{pH} < 4.5$) és molt minsa (un 4.8% de les setmanes a LC i un 10% a RP). S'ha vist que aquest fet es característic de zones circum-mediterrànies (Escarré et al, 1998, Loÿe-Pilot et al, 1990), i contrasta amb la situació més freqüent al centre i nord d'Europa i est de Nordamèrica on la precipitació és àcida (Likens et al, 1977, Lovett, 1994, Reuss and Johnson, 1986).

A la deposició global mostrejada a les nostres dues zones d'estudi, el SO_4^{2-} és l'anió, resultat habitual en la pluja al Ne i E de la península ibèrica (Àvila, 1989, Bellot and Escarré, 1991, Escarré et al, 1998, Carratalà, 1993, Piñol, 1990), i a altres parts del món (Eaton et al, 1973, Likens et al, 1990, Lovett, 1994, Mayer and Ulrich, 1972). El següent anió en abundància és el NO_3^- , després el Cl⁻ i amb valors molt més petits el PO_4^{3-} . El F⁻ ha resultat indetectable.

El Ca^{2+} i el NH_4^+ són els cations amb major concentració a la deposició global: a LC domina el Ca^{2+} i a RP el NH_4^+ . Per ambdues zones, el següent catió més abundant és el Na^+ . Finalment el Mg^{2+} i el K^+ presenten concentracions molt menors.

El fet que les concentracions de Ca^{2+} i NH_4^+ a la deposició global siguin elevades, ja que aquest cations contraresten les concentracions dels anions d'àcids forts (SO_4^{2-} NO_3^-), explica que la pluja a la nostra zona no sigui àcida.

Els valors de concentracions iòniques en el nostre estudi (taula 5.1), són lleugerament inferiors als d'altres estudis fets a la zona mediterrània (taula 5.14). Concretament, la conductivitat i les concentracions iòniques a la deposició global analitzada al nostre estudi a LC són inferiors als trobat per estudis fets a la mateixa zona en el període de 1983 a 1994 (Escarré et al, 1998) amb la excepció del NO_3^- i el i el NH_4^+ . Això és degut a un efecte de dilució, ja que durant el nostre estudi la quantitat de precipitació va ser clarament superior a la dels estudis amb que es compara (taula 5.3 i 5.15). Igualment el fet de trobar major deposició es pot interpretar per una major. Tantmateix, els aportats anuals de la deposició global trobats al nostre estudi (taula 5.3) en la major part dels

Taula 5.14. Valors de la conductivitat (en $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C) i de concentracions (en $\mu\text{eq L}^{-1}$) dels ions indicats en diferents estudis realitzats a alzinars mediterranis. Per cada treball s'indiquen si es refereix a deposició global (DG), trascal (TR) escolament cortical o (EC) i les taxes d'enriquiment del TR respecte a la DG. Indiquem també, sota quina espècie s'ha recollit el TR i l'EC.

Treball	Espècie	Cond.	Alcal.	H ⁺	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
¹ Bellot and Escarré	DG	22,1	32,6	10,7		35,5	72,2	17,9	27,7	56,4	11,5	28,7	8,2
1991	<i>Quercus ilex</i>	TR	42,6	8,2		63,7	135	17,4	54,9	117	37,0	77,0	76,7
Prades	<i>Arbutus unedo</i>	TR	48,7	9,9		67,1	132	19,4	44,4	161	47,7	43,5	114
	<i>Phyllirea latifolia</i>	TR	37,8	7,9		55,0	128	17,6	45,5	114	25,2	37,4	61,4
	<i>Quercus ilex</i>	EC	43,5	7,55		66,8	165	12,4		107	39,5	49,6	115
	<i>Arbutus unedo</i>	EC	39,8	4,18		59,8	126	12,1		141	33,7	44,4	95,4
	<i>Phyllirea latifolia</i>	EC	36,5	3,8		59,0	137	6,8		136	27,1	44,8	99,5
	<i>Quercus ilex</i>	TR/DG	1,9	0,76		1,8	1,9	1,0	1,9	2,1	3,2	2,7	9,3
	<i>Arbutus unedo</i>	TR/DG	2,2	0,92		1,9	1,8	1,1	1,6	2,8	4,1	1,5	13,9
	<i>Phyllirea latifolia</i>	TR/DG	1,7	0,74		1,5	1,8	1,0	1,6	2,0	2,2	1,3	7,5
² Bellot et al,	DG	11,7	4,7			21,7	34,9	16,2	15,1	33,9	5,9	16,0	7,0
1998	<i>Q. ilex</i>	TR	32,9	72,3		44,7	106	40,6	21,9	127	32,1	29,4	65,8
Prades		TR/DG	2,8	4,9		2,1	3,0	2,5	1,4	3,7	5,4	1,8	9,4
³ Rodà, 1983	DG	21,1		15,1		27,7		18,8		61,1	12,5	23,4	3,6
Montseny	<i>Q. ilex</i>	TR	41,3	8,0		61,7		33,7		129	45,2	38,5	86,1
		TR/DG	1,9	0,53		2,2		1,8		2,1	3,6	1,6	24,0
⁴ Escarré et al, 1998. Montseny	DG		13,5	14,3		29	46	21	23,1	57	9,8	23	4,1
⁵ Escarré et al, 1998. Prades	DG		23,4	11,4		30	56	23	29,1	59	10,7	26	8,6

¹Del 8/81 al 11/83, ²del 11/91 al 11/93, ³del 12/78 al 12/80, ⁴del 1983-1994, ⁵del 1981-1994.

Taula 5.15. Valors dels aports, en meq m² any⁻¹ en el cas de l'alcalinitat i kg ha⁻¹ any⁻¹ pels altres elements indicats, en diferents estudis realitzats a alzinars mediterranis. Per cada treball s'indiquen si es refereix a deposició global (DG), trascol (TR) escolament cortical (EC) i el trascol net (TRN) que inclou l'escolament cortical únicament en els casos que aquest flux està reflectit a la taula. Indiquem també, sota quina espècie s'ha recollit el TR i l'EC. a és nitrogen total

Treball	Espècie	Alcalinitat	H ⁺	P-PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	S-SO ₄ ²⁻	N-NO ₃	N-NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
¹ Bellot, 1991 Prades	DG	10,3	0,061		6,5	6,0	1,3	1,9	5,8	0,7	3,4	1,6
	TR	11,9	0,036		8,7	8,2	0,9	2,8	9,7	1,7	5,9	12,3
	EC	1,0	0,005		1,3	1,4	0,1	-	1,4	0,3	0,6	2,6
	TRN	2,6	-0,020		3,5	3,6	-0,3	1,5	5,3	2,4	3,1	13,3
² Bellot, llibre Prades	DG	12,6			7,0	5,2	2,1	1,9	6,2	0,6	3,3	2,5
	TR	44,2			10,1	11,2	3,6	2,0	16,3	2,5	4,3	16,1
	TRN	31,6			3,1	6,0	1,5	0,1	10,1	1,9	1,0	13,6
³ Rapp, 1969 Madeleine	DG			0,7			14,3a		14,7	2,1	22,9	3,1
	TR			3,8			23,9a		37,9	6,9	42,9	40,7
	TRN			3,1			9,6a		23,2	4,8	20,0	37,6
⁴ Rapp, 1969 Rouquet	DG			1,0			14,6a		10,5	1,5	22,6	2,0
	TR			3,8			14,2a		26,3	2,7	34,1	21,3
	TRN			2,8			-0,4a		15,8	1,2	11,5	19,3
⁵ Rodà, 1983 Montseny	DG		0,083		8,4		2,3		10,5	1,3	4,6	1,2
	TR		0,045		12,4		2,7		14,6	3,1	5,0	19,0
	TRN				3,9		0,4		4,1	1,8	0,4	17,8
⁶ Escarré et al, 1997. Montseny	Q. ilex	11,82	0,13		8,9	6,4	2,5	2,8	9,9	1,0	4,5	1,4
⁷ Escarré et al, 1997. Prades	Q. ilex	12,9	0,06		5,7	4,8	1,7	1,8	6,3	0,7	3,2	1,8

¹Del 8/81 al 11/83, ²del 11/91 al 11/93, ³i ⁴1966-968, ⁵del 12/78 al 12/80, ⁶1983-1994, ⁷1981-1994.

casos són molt similars o superiors als detectats en altres treballs d'alzinar mediterrani, incloent la mateixa zona de LC (taula 5.15) amb excepció dels estudis de Rapp (1969). Aquest fet es pot interpretar per una major possibilitat de neteja dels elements presents en l'atmosfera degut a aquesta pluviositat més alta, que també coincideix amb un major nombre d'episodis de pluja (apartat 3.4.1). Aleshores, la deposició global d'aquests elements hauria de provenir d'un transport a llarga distància, ja que si fos procedent de fonts locals, el fet que ploqui més implica una dilució de les concentracions, però no un augment dels aportos (si bé major nombre d'episodis de precipitació sí que pot fer augmentar lleugerament l'efectivitat del "washout" però no la deposició seca gravitatòria). Els resultats de l'apartat 5.3.7 mostren que, en efecte, la deposició humida d'elements transportats a llarga distància és la via principal de deposició en tots els casos, excepte per SO_4^{2-} i NO_3^- en ambdues zones, i Cl^- i Ca^{2+} a RP, en els que hi ha també influència de fonts locals. Aquests arguments, però, no expliquen que la concentració i els aportos de SO_4^{2-} i Ca^{2+} siguin inferiors als d'altres estudis de la zona, ni que el NO_3^- i el NH_4^+ presentin concentracions i aportos superiors. Les possibles explicacions d'aquesta falta de coincidència les discutirem als següent apartats.

5.4.2 Orígen dels elements de la deposició global

Els ACPs presentats al punt 5.3.6.1 mostren un eix principal de càrrega iònica que indica l'efecte de dilució produït amb volums de precipitació alts. A partir de la informació del segon eix d'aquests ACPs, podem diferenciar fins a tres possibles fonts que influeixen la química de la deposició global i que presentem a continuació.

5.4.2.1 Font d'alcalinitat i Ca^{2+} a la deposició global

Una part important dels aport anuals d'alcalinitat i Ca^{2+} a la deposició global de la Península Ibèrica es deu a episodis de pluja amb gran contingut de pols provinents del Sahara, les anomenades pluges de fang (Àvila, 1996, Chester et al, 1993, Camarero and Catalan, 1993, Carratalà, 1993, Le Bolloch and Guerzoni, 1995, Piñol, 1990, Rodà et al, 1993). En el nostre estudi, en 15 mesos (23-1-95 al 25-6-96) es van identificar dues setmanes amb pluja de fang, del que

resulta una freqüència de 1.6 setmanes per any, que és baixa per aquesta zona (taula 5.16). Degut a les altes concentracions de Ca^{2+} i alcalinitat a les pluges de fang, l'aport d'alcalinitat i Ca^{2+} d'aquestes pluges de fang és molt important (taula 5.16).

Taula 5.16. Comparació de la importància dels aportos de Ca^{2+} i alcalinitat de les pluges de fang, respecte als aportos totals, entre el nostre estudi i un més ampli realitzat a la mateixa zona de La Castanya i a Prades.

Zona	La Castanya ¹	Riera de S. Pere ¹	La Castanya ²	Prades ³
Període de mesura	15 mesos	15 mesos	61 mesos	22 mesos
% de pluges de fang	3.7	3.8	10	10
% aportos de Ca^{2+} per pluges de fang	28,1	18,9	44	50
% aportos d'alcalinitat per pluges de fang	43,7	39,9	- ⁴	84

¹Dades d'aquest estudi, per ambdues zones del 23/1/95 a 25/6/96. ²Dades de Àvila (1996) pel període 1983-1994 a LC ³Dades de Rodà et al (1993), per Prades del 1/9/86 a 25/6/88. ⁴Aquest valor no es pot obtenir ja que l'alcalinitat de les pluges sense fang té un valor negatiu.

Com les pluges de fang no han estat molt freqüents en el nostre període d'estudi, s'esperaria menors aportos d'alcalinitat i Ca^{2+} a la deposició global. En canvi l'aport de Ca^{2+} ha estat similar i l'alcalinitat és el doble de la mitjana dels 11 anys anteriors (taula 5.3 i 5.15). S'ha vist a la zona de La Castanya una tendència a l'augment de l'alcalinitat de les pluges que no contenen fang (Àvila, 1996). Per tant, es pot pensar que aquesta tendència es manté i l'alcalinitat de la pluja de LC ha augmentat principalment per la influència de les pluges sense fang, l'alcalinitat de les quals, a més, no sembla anar tant unida al catió Ca^{2+} . Així l'alcalinitat mitjana ponderada per volum de les pluges sense fang de LC pel nostre estudi és de $11.03 \mu\text{eq L}^{-1}$ (9.68 a RP), mentre que en el període 1983-1994 fou de $-3.0 \mu\text{eq L}^{-1}$ (Àvila, 1996).

El segon eix dels ACPs de la deposició global segrega clarament l'alcalinitat i el Ca^{2+} de les altres variables (figura 5.7 a i b) que indica una possible font d'alcalinitat acompanyada de Ca^{2+} . A LC també intervé el Mg^{2+} ,

però en menor mesura. Això concorda amb la discussió anterior sobre la influència de les pluges de fang en els aportes de Ca^{2+} i alcalinitat a la deposició global. Però a més, és possible que hi hagi una deposició provinent d'una font local, en forma de pols carbonatada. Això ens ho mostra el fet que el percentatge d'alcalinitat i Ca^{2+} en el rentat d'embuts respecte a la deposició global és considerable en ambdues zones (taula 5.4). Això indicaria que la pols carbonatada d'origen local a més de ser rentada durant la pluja, es diposita com deposició seca gravitatòria.

Es pot pensar que aquesta font de pols calcària influenciarà més la zona de RP, molt més oberta a la plana del Vallès Oriental, de litologia calcàrea, i amb una ocupació urbana, viària i agrícola considerable, que comporta més moviments de terra capaços d'aixecar pols. Els resultats de l'apartat 5.3.8 indicaven que en efecte la deposició procedent d'una font local semblava contribuir més a la deposició global del Ca^{2+} a RP que a LC. També els percentatges de Ca^{2+} i alcalinitat recuperats amb el rentat d'embuts són lleugerament superiors a RP (taula 5.4). Per altra banda, a les figures 5.7 a i b s'observa que al segon eix dels ACPs, l'alcalinitat i el Ca^{2+} són independents del Cl^- , Na^+ i Mg^{2+} (ions relacionats amb la influència marina) a RP, però es distribueixen conjuntament en el cas de LC. Això indica una major procedència no sahariana de l'alcalinitat i el Ca^{2+} en la deposició global a la zona de RP, ja que les pluges de fang presenten una elevada concentració de Cl^- i Na^+ . Però en canvi, els aportes d'alcalinitat i Ca^{2+} són major a LC que a RP (9.7 $\text{k ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$ de Ca a LC vs 7.5 a RP i 23 $\text{meq m}^{-2} \text{ any}^{-1}$ d'alcalinitat a LC vs 7.5 a RP), diferència que només es justifica parcialment per el major aport d'alcalinitat i Ca^{2+} en les pluges de fang del gener de 1996.

5.4.2.2 Influència marina a la química de la deposició global

La presència de Cl^- i Na^+ en la pluja depèn sobretot de la incorporació dels aerosols marins (Miller and Miller, 1976, Parker, 1983, Ragsdale et al, 1992, Rodà, 1983, Waringand Schlesinger, 1985). En el nostre cas, les concentracions de Cl^- i Na^+ de LC i RP (taula 5.1) són inferiors a zones amb una forta influència marina (Parker, 1983, Robson et al, 1994). La procedència marina comuna dels dos elements implica una alta correlació entre Cl^- i Na^+ (Àvila, 1989, Carratalà,

1993), tal com hem trobat a LC i a RP (taula 5.9). El quocient entre la concentració d'aquest dos ions a LC ($\text{Na}^+/\text{Cl}^- = 0.816$) és semblant al indicat per Krauskopf, 1979, (0,883) per l'aigua del mar. En canvi a RP trobem un valor lleugerament inferior (0,699).

Considerarem el Na^+ com iò de referència per estimar l'aport marí coincidint amb el proposat per Rodà (1983). Per fer-ho ens basem en les següent hipòtesis 1) no sembla haver altres fonts locals o regionals importants de Na^+ soluble, 2) el quocient entre Na^+ i Cl^- és similar al trobat a l'aigua marina, 3) no s'ha descrit emissions altes de Na^+ d'origen antropocèntric. Per tant, assumim que: 1) la totalitat de l'aport del Na^+ és d'origen marí 2) no hi ha fraccionament entre els ions. El fet de trobar una quantitat molt semblant en els aports de deposició global de Na^+ a ambdues zones (taula 5.3) està d'acord també amb suposar la inexistència d'influència de fonts antròpiques. Així podem utilitzar l'expressió proposada per Rodà (1983) per valorar quin percentatge d'un ió X té un origen marí:

$$\%_{\text{mar}}X = (X/\text{Na}^+)_{\text{mar}} / (X/\text{Na}^+)_{\text{dg}} * 100 \quad (5.1)$$

Sent $(X/\text{Na}^+)_{\text{mar}}$ el quocient iònic a l'aigua del mar i $(X/\text{Na}^+)_{\text{dg}}$ el quocient iònic trobat a la deposició global. Si apliquem aquesta fórmula al Cl^- trobat a la deposició global d'ambdues zones, obtenim que un 92.5% del Cl^- trobat a LC té origen marí però només un 79.2% a RP. Hi ha, doncs, una font no marina de Cl^- a la deposició global, que és més important a RP.

A les figures 5.4 a i 5.4 b hem constatat una estreta relació entre les variacions mensuals en els aports de la deposició global del Cl^- i del Na^+ , que varien en el mateix sentit que el volum de precipitació. Segons les hipòtesis formulades a l'apartat 5.3.7, trobem que en el cas de LC la deposició global tant de Cl^- com de Na^+ , i per RP la del Na^+ depen majoritàriament de la deposició humida i prové d'un transport a llarga distància. Pel Cl^- , a RP, es dedueix una contribució tant d'aquesta deposició humida d'elements transportats pels núvols a llargues distàncies com de deposició de procedència local. Aquest fet queda també corroborat per una major recuperació del Cl^- al rentat d'embut a RP (taula 5.4)

També s'han senyalat els aerosols marins com a font de Mg^{2+} en la deposició global (Miller and Miller, 1976, Parker, 1983, Rodà 1983, Ragsdale,

1992). Aplicant l'expressió 5.1, obtenim que té un origen marí el 29.5 % del Mg^{2+} present a la deposició global de LC i el 30.3 % a RP. El Ca^{2+} i el K^+ presenten taxes molt baixes de relació iònica amb el Na^+ a l'aigua del mar ($Ca^{2+}/Na^+=0.0439$ i $K^+/Na^+=0.0207$, Krauskopf, 1979) i per tant la possible influència marina en la deposició global d'aquests dos elements és petita, essent pel Ca^{2+} : 1.1 % a LC i 1.3% per RP, i pel K^+ : 10.9 % a LC i 10.5% per RP.

5.4.2.3 Fonts lligades a la contaminació antropocèntrica

L'eix segon dels ACPs de la deposició global (figura 5.7 a i b) oposa les variables SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ a l'alcalinitat. El SO_4^{2-} i NO_3^- són els responsables de la pluja àcida en zones amb atmosfera poc neutralitzant (pobre en cations bàsics i NH_4^+) i tots tres ions (SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+) poden provocar l'acidificació de sòls de baixa saturació de bases (Reuss and Johnson, 1986, Ross, 1996). A la pluja de zones industrialitzades, aquest tres ions procedeixen principalment de contaminació d'origen antropogènic. El SO_4^{2-} s'origina sobretot per l'oxidació del SO_2 provinent de la combustió de carbó i fuels, l' NO_3^- per l'oxidació de NO_x emés principalment pel tràfic i l' NH_4^+ associat a emissions de NH_4 procedent d'explotacions agrícoles i ramaderes (Bytnerowicz and Fenn, 1996, Highton and Chadwick, 1981, Lindberg et al, 1990, Puxbaum et al, 1993, Reuss and Johnson, 1986, Taylor et al, 1994) . A la deposició global de LC i RP hem trobat que aquests tres ions estan altament correlacionats (taula 5.9).

Segons la distribució de variables del primer eix dels ACPs de la deposició global (figura 5.7 a i b), la deposició global de SO_4^{2-} i l' NO_3^- està acompanyada principalment per cations bàsics i/o NH_4^+ i no majoritàriament amb H^+ , resultat que contrasta amb zones del centre i Nord d'Europa i est de Nord Amèrica on la precipitació és àcida i H^+ és el catió més abundant (Eaton et al, 1973, Reuss and Johnson, 1986, Lindberg et al, 1986, Lovett, 1994, Mahendrappa, 1983) . Però, dels cations bàsics (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ i K^+ ;) i NH_4^+ , amb quins es troba preferentment combinats el SO_4^{2-} i l' NO_3^- a la deposició global de LC i de RP? Com hem comentat al punt anterior, el Na^+ s'atribueix totalment a un origen marí, pel que podem considerar que majoritàriament es troba a la deposició global en forma de NaCl. El Mg^{2+} i el K^+ es troben en concentracions força baixes en la deposició global (taula 5.1) pel que tot i que es puguin trobar

combinats amb aquests anions el seu paper pot ser poc important. En el cas del Ca^{2+} si bé es troba a la deposició global associat a l'alcalinitat com conseqüència de la dissolució del CaCO_3 (veure apartat 5.4.2.1) la seva concentració és molt superior al valor de l'alcalinitat i bona part del Ca^{2+} pot estar combinat amb els anions SO_4^{2-} i NO_3^- . Finalment, a la deposició global la concentració de NH_4^+ mostra una correlació molt gran amb la concentració de SO_4^{2-} i NO_3^- , coincidint amb una distribució similar dels tres ions en el primer i segon eix dels ACPs corresponents (Figura 5.7 a i b). En canvi, la concentració de NH_4^+ presenta unes correlacions molt baixes amb l'alcalinitat, i el Cl^- (taula 5.9). Així doncs, el NH_4^+ sobretot i també el Ca^{2+} són els cations que principalment es troben a la deposició global amb els anions SO_4^{2-} i NO_3^- , tal i com s'ha descrit anteriorment a la pluja de Prades i del Montseny (Àvila, 1989, Piñol, 1990, Escarré et al, 1998)

Els resultats de l'apartat 5.3.7 indiquen la deposició global del SO_4^{2-} i NO_3^- està influenciada per elements provinents de transport a llarga distància junt amb element de procedència més local, en canvi en la deposició global del NH_4^+ domina especialment l'origen no local que arriba en forma de deposició humida.

En els darrers anys, la deposició atmosfèrica de SO_4^{2-} ha disminuït en diverses zones d'Europa i Nord-Amèrica com resultat de la disminució de les emissions industrials de SO_2 (Butler and Likens, 1991, Hedin et al, 1987, Leck and Rodhe, 1989, Lynch et al, 1995). A la zona de La Castanya, s'ha establert una tendència significativa de disminució de la deposició global de SO_4^{2-} en termes de concentració i dels aportos anuals durant el període 1983-1994 (Àvila, 1996). És doncs possible explicar la menor deposició global de SO_4^{2-} trobada al nostre treball a la zona de LC respecte a estudis anteriors (Rodà, 1983, Àvila, 1988) com el manteniment d'aquesta tendència.

En canvi la concentració i els aportos de NO_3^- o de NH_4^+ són superiors als registrats a altres estudis similars (taula 5.14 i 5.15). Per exemple els aportos a LC per el nostre període d'estudi és de $4.7 \text{ kg ha}^{-1}\text{any}^{-1}$ de NO_3^- -N i $5.4 \text{ kg ha}^{-1}\text{any}^{-1}$ de NH_4^+ -N i per un període d'11 anys (1983-1994) és de $2.8 \text{ kg ha}^{-1}\text{any}^{-1}$ de NO_3^- -N i $2.5 \text{ kg ha}^{-1}\text{any}^{-1}$ de NH_4^+ -N (Escarré et al, 1998). Aquest majors aportos al període del present estudi són més grans sobretot degut a una major precipitació (1275 vs 876 mm). Però també hem detectat concentracions més

altes que les registrades a LC des del 1983 (Àvila, 1996). A altres llocs d'Europa s'ha vist una tendència a l'augment de NO_3^- -N i NH_4^+ -N a la pluja (Brimblecombe,). Per tant, aquestes dades són indicatives d'una tendència semblant, però evidentment caldria allargar uns anys l'estudi per confirmar-ho.

5.4.3 Diferències en la deposició global entre LC i RP

Les diferències trobades en la química de la deposició global entre els dues zones estan fortament condicionades pel fet que la precipitació fou superior a LC. Així, en general, les concentracions i la conductivitat són més baixes a LC (taula 5.1) degut a la dilució produïda per la major precipitació d'aquesta zona (taula 5.3). En canvi, en la majoria d'ions els aportes són superiors a LC (taula 5.3), precisament degut a aquesta major pluviositat. Tantmateix per la majoria dels casos les diferències entre ambdues zones no són significatives quan comparem les mitjanes setmanals en concentració o dels seus aportes (taules 5.7 i 5.8). Hi ha però algunes excepcions a aquest patró que comentem a continuació.

L'alcalinitat de la pluja és superior a LC i també els seus aportes, encara que les diferències en els valors setmanals no són significatives. Tal com hem discutit al punt 5.4.2.1, sembla que hi hauria una major influència d'un font de d'origen local a la zona de RP. I el major aport d'alcalinitat a LC s'explica només parcialment per els aportes superior que les pluges de fang del gener de 1995 tenen a LC.

Els aportes de NO_3^- , K^+ , Cl^- i H^+ són superiors a RP (taula 5.3), però les diferències només són significatives pel Cl^- . Tal com hem discutit a l'apartat 5.4.2.2 hi ha una font de Cl^- d'origen local que influencia molt més a la zona de RP.

Basant-nos en el que hem presentat en aquest apartat i en els anteriors referits a la deposició global podem generalitzar:

- 1) la química de la deposició global és molt similar a ambdues zones ja que les diferències en els valors anuals són molt petites i la majoria de comparacions entre els valors setmanals no són significatives
- 2) la deposició global d'ambdues zones té un caràcter bàsic, essent el pH lleugerament més alt a LC.

3) a RP hi ha una font de Cl⁻ no associada a la influència marina i amb un origen local.

4) la deposició global d'alcalinitat i Ca²⁺ depèn de la influència de les pluges de fang i de la deposició de pols carbonatada del voltant. Les pluges de fang haurien influenciat més a LC i la deposició de pols carbonatada més a RP.

5) en termes de concentració el catió predominant a RP és el NH₄⁺, en canvi a LC és el Ca²⁺.

5.4.4 Química del trascol i l'escolament cortical

La composició química de l'aigua de trascol i escolament cortical és el resultat de les modificacions de l'aigua de la deposició global en travessar la capçada. Aquestes modificacions són degudes a tres processos: 1) la lixiviació d'elements o substàncies internes de la capçada, 2) el rentat de la deposició seca acumulada en forma d'aerosols sobre la capçada, 3) l'absorció de determinats ions en la capçada. El balanç entre els processos d'enriquiment de la química de la deposició global (el rentat de deposició seca i la lixiviació), i els d'empobriment (l'absorció) determinaran si el trascol net (entès com els aportes en forma de trascol i escolament cortical menys els aportes per deposició global) és positiu o negatiu (Eaton et al, 1973, Parker, 1983). Des de la perspectiva dels cicles de nutrients, és cabdal poder diferenciar el paper de la lixiviació en aquest enriquiment, ja que l'aport que aquest procés té en el trascol net no representa una entrada de nutrients (o contaminants) al ecosistema del bosc, sinó una recirculació dels elements dintre del mateix sistema. Paral·lelament, és important determinar el paper de l'absorció, ja que representa una entrada neta a l'ecosistema que no es quantifica amb el trascol net (Davidson et al, 1985, Eaton et al, 1973, McCune and Botce, 1992, Lindberg and Lovett, 1986)

En el cas dels alzinars de LC i RP han dominat els processos que impliquen un enriquiment del trascol i l'escolament cortical, resultat habitual a la majoria d'estudis fets a altres alzinars (taula 5.14) o a qualsevol altre tipus de bosc en diverses zones del món (Eaton et al, 1973, Freedman and Prager, 1986, Mayer and Ulrich, 1977, Miller et al, 1976, Parker, 1983, Prebble and Stirk, 1980, Stevens, 1987, Tsutsumi and Nishitani, 1984). Aquests enriqueiments, si són suficientment grans, impliquen un trascol net positiu (com ha passat amb K⁺,

alcalinitat, P-PO_4^{3-} , Mg^{2+} , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} -S, Na^+ a les dues zones i amb NO_3^- -N i NH_4^+ -N a RP). En canvi, els empobriments en la concentració impliquen un trascol net negatiu (tal com ocorre en el cas del NO_3^- -N i NH_4^+ -N a LC, i del H^+ a ambdues zones). En els següents apartats analitzarem el paper relatiu de la lixiviació, el rentat de la deposició seca i del consum a nivell de capçada en la modificació de la química del trascol i l'escolament cortical.

5.4.4.1 Importància del rentat de deposició seca en l'enriquiment del trascol i l'escolament cortical.

Segons les hipòtesis formulades a l'apartat 5.3.8 els aportes de trascol net provenen principalment del rentat de la deposició seca acumulada a la capçada pels ions Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} i Na^+ als dos llocs, pel H^+ només a LC i pel PO_4^{3-} i NO_3^- només a RP. Aquests resultats només indiquen que el procés dominant en la modificació de la química de la deposició global a nivell de capçada és el rentat de deposició seca, però en cap cas exclou que intervinguin processos de lixiviació i/o absorció i que en algunes setmanes siguin inclús els dominants. A continuació analitzem el comportament de cada un d'aquests ions excepte el NO_3^- i NH_4^+ que es discuteixen a l'apartat 5.4.4.3.

1) Ions de procedència marina. Els ions de procedència marina (Cl^- i Na^+) presenten correlacions molt altes, que indicarien un origen comú, tot i que l'enriquiment del Na^+ en el trascol i l'escolament cortical ha estat considerablement menor que la del Cl^- (taula 5.2) Per interpretar el possible origen marí d'aquests ions a partir del quocients Cl^-/Na^+ , cal acceptar que l'única modificació del contingut de Na^+ de l'aigua de la pluja depen del rentat de la deposició seca. Però, hem detectat que en determinats mesos (figures 5.4 k i 5.5 k) aportes nets de Na^+ negatius. Això fa pensar que el mecanisme per explicar menor enriquiment de Na^+ respecte al Cl^- sigui degut a l'absorció del Na^+ a la capçada. Aquest procés ha estat descrit per altres autors a caducifolis (Klemmedson, 1983, Puckett, 1990a, Rangsdales, 1992). Rodà (1983) també observa aportes nets negatius de Na^+ a l'alzinar de LC en alguns mesos. Per altra banda, els resultats de l'experiment de rentat de branques descrit al capítol 7 indiquen també aquesta possible absorció de Na^+ a LC (apartat 7.4.2).

A LC els troncs i les capçades estan coberts per molts més epífits que a RP (LC està en una situació d'obaga i Rp de solana) i tenen l'escorça més clivellada i per tant amb més superfície de contacte amb l'aigua d'escolament cortical. Si acceptem que els epífits i l'escorça poden tenir un paper important en l'absorció de Na^+ , això explicaria que l'enriquiment de Na^+ sigui menor a LC, particularment quan considerem l'escolament cortical.

Si obviem la possible absorció de Na^+ , els resultats obtinguts amb l'utilització d'aquest ió com referència per calcular el percentatge d'origen marí d'altres ions està esbiaixat. Tot i això, basant-nos en la relació amb el Na^+ , hem calculat el percentatge dels aportos nets de Cl^- i Mg^+ que té un origen marí. A LC aquesta proporció és despreciable en els tres casos, i a RP és d'un 40% pel Cl^- i un 11 % pel Mg^+ . A la deposició global de RP hem detectat que un part (20.5%) de la deposició de Cl^- procedia d'una font local no relacionada amb els aerosols marins, que en canvi a LC era força menys rellevant (7.5%). En el cas dels aportos de trascol net, de Cl^- el percentatge no procedent d'aerosols marins seria d'un 60% per RP i de pràcticament un 100% a LC. Això es pot explicar en part per la existència d'un font de deposició local de Cl^- que es diposita a LC i a RP, però resulta difícil pensar que sigui major en valor absolut a influència molt més a LC, ja que a la deposició global la influència era molt major a RP. En un cas similar estaria el Mg^+ , ja que a la deposició global hi havia més proporció de procedència marina d'aquest ió a LC que a RP. Rodà (1983) troba que el Cl^- procedent dels aerosols marins era del 17% a la zona de LC. És possible que, en efecte la deposició seca d'aerosols marins sigui més important a RP, en una posició més oberta respecte a LC. Però, probablement el valor de trascol net de Na^+ tant baix a LC (0.141 kg ha any) esbiaixa aquest resultats i la proporció de Cl^- procedent d'aerosols marins a LC és més gran.

Resumint doncs, podem considerar que l'enriquiment de Na^+ i Cl^- es deu a la deposició seca d'aerosols origen marí (Parker, 1983). Això però no coincideix amb un augment proporcional en els aportos del trascol net dels dos ions degut a: 1) la influència de processos d'absorció de Na^+ i 2) l'existència d'una font de deposició seca de Cl^- d'origen no marí que sembla influenciar més a RP (trascol net de Cl^- superior), però la magnitud de la qual no hem pogut valorar.

2) Sulfat. Les taxes d'enriquiment de concentració de SO_4^{2-} tant del trascol com de l'escolament cortical han estat moderades (taula 5.4). Tantmateix el SO_4^{2-} ha estat l'anió més abundant al trascol i a l'escolament cortical. Segons els resultats trobats a l'apartat 5.3.8 la deposició seca és la principal via d'enriquiment del trascol net en ambdues zones. Aquest trascol net és major a RP que a LC. Recordem que a RP hem trobat una deposició seca gravitatòria de sulfat més important que a LC. No obstant, la deposició seca inclosa en el trascol net procedeix generalment de la impactació d'aerosols (Lindberg and Lovett, 1992, Lindberg, 1992, Puckett, 1990a). De fet, per calcular el trascol net restem els aportats sumats de la deposició global i del rentat d'embuts i per tant, ja excloem gran part de la deposició seca gravitatòria que pot arribar als dos alzinars.

Alguns autors dedueixen que el SO_4^{2-} presenta taxes de lixiviació considerables (Fahey, 1988, Miller and Miller, 1976). Tanmateix, estudis realitzats amb isotops de sofre ha demostrat que la lixiviació de sofre és poc important (Cape et al, 1992, Lindberg and Garten, 1988). Per exemple Lindberg and Garten (1988) van trobar taxes de lixiviació del 3% en boscos de coníferes i Garten et al (1988) taxes de lixiviacions menors del 4% en boscos de caducifolis. En el nostre cas no hi ha línies d'evidència per creure en taxes de lixiviació importants de SO_4^{2-} . Per exemple correlacions trobades entre el SO_4^{2-} i el K^+ , element que s'ha usat indicador del procés de lixiviació (Parker, 1983, Rodà, 1983, apartat 5.4.4.2), són sempre baixes i no significatives pel trascol. Per tant, tot i que no podem excloure totalment la possibilitat d'una certa lixiviació, aquesta tindria una importància relativa minoritària.

Aquesta baixa lixiviació permet utilitzar el trascol total com una bona estima de la deposició atmosfèrica de SO_4^{2-} (Lindberg and Lovett, 1992). Així podem fer una estima del % de sofre del trascol total (la suma del trascol i l'escolament cortical) que arriba a aquests boscos: en forma d'aports de deposició global arriba un 87 % del total de la suma dels aportats del trascol i l'escolament cortical a la zona de LC i un 66 % a RP (taula 5.3). La resta, aproximadament un 23% per LC i un 34% per RP correspon a deposició seca en forma d'aerosols. Aquests aerosols poden tenir, en part, un origen marí tal com ho indiquen les correlacions (taula 5.10), baixes però significatives, entre el SO_4^{2-} i el Na^+ . (Ahmad-shah and Rieley, 1989). Tot i la dificultat d'aquest càcul

per la possible absorció de Na per la capçada (veure paràgrafs anteriors) aquesta relació indica que 3.4% del SO_4^{2-} -S té aquesta procedència a RP i a LC és pràcticament 0.

3) Calci. L'enriquiment del Ca^{2+} al trascol net és força gran (taula 5.4). Segons les hipòtesis de l'apartat 5.3.8, aquest enriquiment depen principalment del rentat de la deposició seca de les capçades. Per altra banda, sabem que el contingut d'aquest catió en els aerosols marins és baix (Krauskopf, 1979) i també hem vist com una font molt important de Ca^{2+} a la deposició global eren les pluges de fang (Loyè-Pilot et al, 1986). No obstant, la pols sahariana viatja a gran alçada (3-5 km) i es diposita principalment en forma de pluja (Prodi and Fea, 1979, Nicovik, 1996, Loyè-Pilot and Martin, 1996). No es coneix bé encara el percentatge de pols que es diposita en forma seca (Prospero,). En general però, es considera que la deposició seca de Ca^{2+} és principalment d'origen local (Bellot, 1988, Fahey, 1988, Rodà, 1983, Puckett, 1990a). De fet, la deposició seca de Ca^{2+} , també de Mg^{2+} i en menor mesura del K^+ , generalment es fa en forma de partícules superiors a $2 > \mu\text{m}$ que poden tenir una deposició gravitatòria força efectiva o també una impactació directa provocada per la turbulència creada per l'aire en la capa límit de les capçades, però aquest tamany de partícula permet un transport a llarga distància, a excepció feta de les situacions que provoquen les pluges de fang (Davidson and Wu, 1990, Lindberg et al, 1986, Lovett, 1994, Tanner, 1990).

D'altra banda, cal considerar també un cert paper de la lixiviació de Ca^{2+} com a contribució als aportats nets (Miller and Miller, 1976, Parker, 1983, Ragsdale et al, 1992, Robson et al, 1994, Tsutumi, 1984, Yawney, 1978). De fet aquest element no es retrasloca i es troba acumulat a fulles i teixits apicals o es troba en forma mòbil (Tukey, 1970). Nosaltres hem detectat una correlació positiva i significatives encara que no molt alta entre el Ca^{2+} i el K^+ al trascol net, cosa que podria indicar certa lixiviació del Ca^{2+} . Els aportats de trascol net de Ca^{2+} són clarament superiors a RP ($7.6 \text{ k ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$) que a LC ($3.4 \text{ k ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$) i aquesta diferència es deu sobretot a una major deposició seca de pols carbonatada local

4) Magnesi. La via principal d'enriquiment del Mg^{2+} al trascol és la deposició seca, segons s'ha vist a l'apartat 5.3.8. . Aquesta deposició seca pot

provenir de la impactació d'aerosols marins (Bellot and Escarrè, 1991, Parker, 1983, Rodà, 1983) o bé de la deposició de pols de procedència local (Bellot and Escarrè, 1991, Parker, 1983, Tanner, 1991, Rodà 1983,). Les correlacions entre les concentracions al trascol de Mg^{2+} amb Cl^- i Na^+ són altes i significatives i superiors a RP que a LC. No obstant, a les dues zones també hi ha una correlació alta entre la concentració de Mg^{2+} i Ca^{2+} del trascol. Per tant podem afirmar que el Mg^{2+} del trascol procedeix de la deposició seca amb la contribució d'aerosols d'origen marí i de pols local.

Tot i que els aportats nets de Mg^{2+} d'ambdues zones presenten el comportament esperat pels ions provinent principalment de la deposició seca (apartat 5.3.8), la correlació entre els aportats nets i el volum és positiva i força alta (tot i no ser significativa). Amb un valor una mica superior i significatiu, segons les hipòtesis de l'apartat 5.3.8 considerariem el Mg^{2+} com un element enriquit al trascol per lixiviació, tal com passa amb el K^+ . Així podem afirmar que si bé la deposició seca és la principal via d'enriquiment del trascol net del Mg^{2+} (Fahey, 1988, Miller and Miller, 1976, Puckett, 1990, Tsutumi, 1984), la lixiviació també pot representar percentatges importants (Bellot and Escarrè, 1990, Fahey, 1988, Rodà, 1983). A diferència del trobat a la deposició global, ni el Ca^{2+} ni el Mg^{2+} es troben preferentment relacionats amb l'alcalinitat o amb cap anió ni al trascol ni a l'escolament cortical.

5) Fluor i Fosfat. Els aportats de PO_4^{3-} -P i F^- al trascol tenen una gran variabilitat temporal, totalment diferent a les dues zones i sense seguir cap patró estacional. Segons les hipòtesis formulades a l'apartat 5.3.8, l'enriquiment de PO_4^{3-} al trascol sembla relacionat amb la lixiviació a LC i amb la deposició seca a RP. Diversos autors han descrit també l'enriquiment de fosfat al trascol total com a resultat de la lixiviació (Parker, 1983, Newman, 1995, Stevens, 1987, Yawney, 1978). Aquest enriquiment ha resultat superior a LC que a RP.

Pel F^- els resultats de l'apartat 5.3.8 són molt poc robustos degut al petit nombre de casos, tanmateix semblen indicar un enriquiment degut sobretot al rentat de deposició seca().

5.4.4.2 Importància de la lixiviació d'elements interns de la capçada en l'enriquiment del trascol i l'escolament cortical.

Segons les hipòtesis proposades a l'apartat 5.3.8, els aports nets d'alcalinitat i K^+ al trascol dels dos llocs i els de PO_4^{3-} -P només a LC tenen el principal origen en la lixiviació d'elements interns de la capçada. En aquest apartat no discutirem l'alcalinitat ja que ho farem conjuntament amb el H^+ a l'apartat 5.4.4.4.

És de fa temps conegut que la presència de K^+ al trascol net es deu principalment a la lixiviació (Carleton and Kavanagh, 1990, Eaton et al, 1973, Fahey, 1988, Johnson et al, 1985, Leonardi and Flückiger, 1987, Parker, 1983, Puckett, 1990a, Rapp, 1969) i que aquesta lixiviació resulta especialment alta coincidint amb els moments de creixement de la vegetació (Ahmad-shah and Rieley, 1989, Bellot and Escarré, 1990, Eaton et al, 1973, Johnson et al, 1985, Olson, 1981, Rodà, 1983). A més, en experiments de fertilització i/o irrigació s'ha observat una major lixiviació de K^+ en parcel·les fertilitzades respecte de les no fertilitzades (Miller and Miller, 1976, Tsutumi, 1984, Yawney, 1978).

Per altra banda, analitzant les variacions mensuals del trascol net de K^+ , observem com aquest augmenta quan amb volums de precipitació alts, però que si aquestes precipitacions coincideixen amb èpoques de creixement (especialment entre maig i juliol) l'augment és força superior (figures 5.4 l. i 5.5 l). En aquests mesos es quan, per una banda, apareixen els brots i les fulles joves, però també coincideix amb la senescència de les fulles més antigues. El K^+ és un element que es troba en concentracions altes en les fulles i a més té una gran mobilitat (Tukey et al, 1958) i en fulles senescent, el K^+ es renta amb facilitat (Tukey et al, 1958, Tsutumi, 1984, Rapp, 1970). Així, aquest augment podria estar relacionat amb la senescència de fulles antigues. Als estudis de circulació de nutrients a Prades i el Montseny s'ha vist que les fulles d'alzina tenen una elevada quantitat de K^+ (Clemente, 1983, Mayor, 1994). Les fulles joves presenten cutícules encara poc desenvolupades i segurament l'intercanvi entre la solució de dintre de la fulla i l'exterior resulta més fàcil. Apart, al final de l'època de creixement es produeix l'aparició de les inflorescències que tenent un elevat contingut de K^+ (Bellot, 1988) i podrien col·laborar també en l'augment del trascol net de K^+ per lixiviació (veure apartat 7.4.1.2).

Un resultat sorprenent és que aquesta lixiviació ha resultat molt més gran al juny del 1996 que a la primavera del 1995. En els nostres llocs d'estudi, i en general a tota Catalunya, es va donar una important sequera durant l'any 1994 (Lloret and Siscart, 1995) i la primavera del 1995 no va resultar especialment plujosa (figura 5.6). En canvi durant tota la resta de l'any 1995 i la primera meitat del 1996 la precipitació ha resultat extraordinàriament alta (apartat 3.4.1). Aquest fet podria haver provocat una brotada molt més vigorosa al Juny del 1996 que a la primavera del 1995 i en conseqüència els processos implicats en la lixiviació s'haurien vist afavorits, per exemple: 1) l'aparició de més fulles noves, 2) major nombre de fulles en procés d'abscisió i 3) major producció d'inflorescències. En un alzinar a la serra de Sant Llorenç, sobre un substracte similar i amb una pluviometria similar a la de LC i RP, s'ha vist que al 1995 encara es detectava un stress degut a la sequera que en canvi ja no s'enregistra al 1996 (Peñuelas et al, en premsa). Per tant es pot pensar que, en efecte, aquests alzinars van tenir una major creixement de capçada a la primavera de 1996 que al 1995 i que això va propiciar un augment de la lixiviació.

5.4.4.3 Trascor i escolament cortical del NO_3^- i NH_4^+ .

El NO_3^- -N i NH_4^+ -N presenten un trascor net negatiu (i per tant una absorció a nivell de capçada) a LC, a RP aquests aportes són positius. Segons les hipòtesis formulades a l'apartat 5.3.8 només els aportes nets de NO_3^- -N presenten el comportament esperat en un element absorbit per la capçada: els aportes setmanals de trascor net disminueixen amb el volum de precipitació. D'altra banda, a LC les variacions mensuals del trascor net de NO_3^- -N i NH_4^+ -N (figures 5.4 g i h) mostren molt mesos amb trascor net negatiu. A RP, en canvi, el comportament dels aportes nets de NO_3^- -N i de NH_4^+ -N al trascor en relació al volum de precipitació indiquen la presència d'una font de deposició seca (apartat 5.3.8) tot i que els aportes de trascor net del NO_3^- són molt petits (taula 5.3). A RP les variacions mensuals dels aportes del trascor net del NO_3^- -N mostren també alguns valors negatius al llarg de l'any (figura 5.5 g), tantmateix els mesos d'aports de trascor net negatiu de NH_4^+ -N són més esporàdics i de menor magnitud (figura 5.5 h). Per tant podem concloure que en LC hi ha una clara absorció de N a nivell de capçada tant en forma de NO_3^- com de NH_4^+ , però especialment de NO_3^- .

Ens podem preguntar però: per què només hem detectat clarament processos d'absorció a LC i no a RP? Per respondre a aquesta pregunta cal fer unes consideracions prèvies: 1) no és una condició imprescindible la de detectar aports nets negatius per pensar que hi ha una absorció de l'element a nivell de capçada. De fet, quan es detecta aquest valor negatiu vol dir que la quantitat d'element absorbida al llarg del període ha resultat superior a la quantitat incorporada com deposició seca i a la que s'ha lixiviat. Per tant es podria donar una absorció que no superes aquestes dues fonts d'enriquiment i no la detectariem. Lovett and Lindberg (1993) en 11 boscos de Nord-Amèrica i 1 d'Europa, troben tracol net negatiu per NO_3^- -N però positiu per NH_4^+ -N, emprant una aproximació com la nostra (tracol net és la suma del tracol més l'escolament cortical i menys la deposició global). En canvi considerant l'intercanvi net de capçada (NCE) definit com la deposició oculta, humida i seca (incloent l'estima de la deposició de partícules petites per mètodes micrometeorològics) menys el tracol i l'escolament cortical, troben valors negatius de NO_3^- -N i de NH_4^+ -N. Per tant, en aquest cas la impactació d'aerosols rentada per la pluja emmascara l'absorció de NH_4^+ . 2) Hem trobat una major deposició seca d'aerosols de SO_4^{2-} a RP junt amb una forta correlació en el tracol entre la concentració de SO_4^{2-} i la de NO_3^- i NH_4^+ , el que indicaria una certa deposició seca d'aerosols de NO_3^- -N i de NH_4^+ -N i 3) Diversos autors mostren un paper rellevant de la deposició seca d'aerosols en l'enriquiment en N del tracol (Lovett and Lindberg, 1993, Puckett, 1990a, Tsutumi, 1984).

Totes aquestes consideracions ens indueixen a pensar que a RP també hi ha un procés d'absorció de N a nivell de capçada, que no es tradueix en aports nets negatius, perquè l'absorció seria menor que la deposició seca. Això és més clar pel NH_4^+ -N. Apart, cal considerar també el fet que a LC hi ha major presència d'epífits als troncs, que a RP, el que podria implicar una major absorció de N a LC per efecte d'aquest epífits. Aquest fet explicaria, en part, les taxes tant clares d'empobriment trobades a l'escolament cortical de LC i no al de RP. Però com el percentatge que els aports de l'escolament cortical representen sobre el tracol total és petit (taula 5.4), aquest efecte és pràcticament negligible en els balanços globals. Aquesta absorció de N a nivell de capçada no és habitual en tots els boscos (Parker, 1983, Stevens, 1987, Pucket, 1990) tot i que s'ha descrit bastants casos (Bynterowicz and Fenn, 1996, Carleton and Prager,

1986, Fahey, 1988, Freedman and Prager, 1986, Klemmedson, 1983, Mahendrappa, 1990, Pucket, 1990, Schlesinger et al, 1982), de fet, la retenció de N per epífits ha estat publicada en els treballs de Lang et al (1976) i Reiners and Olson (1984). Pels alzinars mediterranis trobem una gran variabilitat de pautes en els aports nets de N (taula 5.15)., per exemple: Bellot and Escarré (1991) a l'alzinar de Prades detecten aports nets negatiu al trascol de NO_3^- -N i positius de NH_4^+ -N en el període 81-83, en canvi per la mateixa zona pel període 91-93 (Bellot et al, 1998) troba trascol net positiu de NO_3^- -N i pel NH_4^+ -N pràcticament nul. Rapp (1969) troba trascol net de NO_3^- -N positiu en un dels dos alzinars del seu treball però no en l'altre. A l'alzinar de LC Rodà (1983) troba un trascol net positiu de NO_3^- -N.

Per què Rodà (1983), no troba una absorció neta de N per part de les capçades tot i que el seu treball va ser dut a terme a la mateixa zona de LC, encara que no al mateix lloc exacte? La primera consideració és que el N s'absorbeix en dissolució de la fina capa d'aigua que recobreix la fulla. Com hi ha hagut més volum de precipitació i també major nombre de precipitacions al nostre estudi que en el de Rodà (1983) (veure apartat 3.4.2), probablement això ha facilitat una major absorció.

Per altra banda, s'ha descrit una limitació per l'aigua en el creixement diametral de les alzines (Rodà et al, 1998). Rodà (1983) va enregistrar a LC una mitjana de precipitació en el seu període (2 anys) de $862.6 \text{ mm any}^{-1}$, però un any fou molt sec ($644.4 \text{ mm any}^{-1}$). Nosaltres en canvi hem enregistrat a LC una quantitat de precipitació molt més alta (1275 mm any^{-1}). Podem doncs considerar que durant el període d'estudi de Rodà (1983) hi hagués un menor creixement d'aquests boscos, i aquest menor creixement implicés per tant una menor absorció de N. En canvi en el nostre cas, el gran volum de precipitació implicaria un major creixement del bosc, i per tant també una major absorció de N. De fet, trobem una certa pauta temporal amb aports nets negatius de NO_3^- -N i NH_4^+ -N a la primavera, època de creixement de les alzines (figures 5.4 g i h).

Tantmateix, realment podem establir una relació entre major creixement i major absorció de N a nivell de capçada?. Per una banda si realment hi ha major creixement, hi haurà major demanda de nutrients. En estudis de fertilització amb N realitzats a alzinars del Montseny i Prades, s'ha trobat un fort

efecte en la dinàmica de capçada d'aquesta fertilització que es pot interpretar com una prova indirecta d'aquesta limitació per nutrients (Rodà et al, 1998?). Nosaltres, hem trobat una certa coincidència entre els moments de creixement, maig-juny, i l'absorció del N- NH_4^+ i de NO_3^- -N. És a dir, hi ha una certa coincidència temporal entre una major demanda de nutrients degut al creixement i una absorció de N. Wittwer and Teubner (1959) van mostrar que l'absorció de N resulta més eficient per les fulles joves, per tant aquesta absorció pot ser facilitada en moments de creixement. Es pot suposar doncs, que efectivament creixements majors impliquen major absorció de N, com de fet ja han proposat altres autors (Lindberg and Lovett, 1986, Leonardi and Flückiger, 1987). Si acceptem que hi ha realment una limitació en el creixement per l'aigua als alzinars de LC, podria ser que la major precipitació ha suposat una menor limitació per l'aigua i per tant un major creixement respecte el període d'estudi de Rodà (1983) que ha suposat una major absorció de N a nivell de capçada.

5.4.4.4 pH del trascol i l'escolament cortical

El trascol i l'escolament cortical de les dues zones tenen un caràcter més bàsic que la deposició global (taula 5.6). Tot i que s'observen alguns episodis de trascol àcid, són molt menys freqüents que a la deposició global, i encara menys a l'escolament cortical (figura 5.3). Si comparem les dues zones, trobem que malgrat que la deposició global és lleugerament més bàsica a LC que a RP, el trascol i l'escolament cortical són més bàsics a RP, indicant que la capçada del bosc de RP ha mostrat més capacitat alcalinitzadora.

En altres alzinars s'han descrit també enriquiments d'alcalinitat en l'aigua del trascol i l'escolament cortical (Bellot and Escarré, 1991 i Bellot et al, llibre) i empobriments de l' H^+ (Bellot and Escarré, 1993, Bellot et al, llibre, Rodà, 1983). S'han descrit també empobriments d' H^+ al trascol en boscos caducifolis (Cronan and Reiners, 1983, Eaton et al, 1973, Freedman and Prager, 1986, Mahendrappa, 1983, Rodà, 1983) i en boscos de coníferes (Freedman and Prager, 1986, Mahendrappa, 1983, Rodà, 1983). També s'han vist enriquiments de H^+ en conífers (Cronan and Reiners, 1983, Stevens, 1987).

En el nostre estudi trobem trascol net negatiu d' H^+ i trascol net positiu d'alcalinitat, és a dir, a la capçada hi ha un consum de H^+ i una aportació

d'alcalinitat. Així a LC s'ha consumit un 88% del contingut d' H^+ de la deposició global, i per RP, un 91%. En aquests càlculs no hem considerat la possible deposició global d' H^+ com a aerosols, que malgrat ser poc important (Schaefer, 1992) tendria encara a augmentar més la quantitat d' H^+ consumida. El consum d' H^+ a nivell de capçada en aquests alzinars es produirà per la neutralització efectuada per la reserva alcalina en el trascol, deguda tant a la dissolució de pols carbonatada dipositada sobre les fulles, com a la presència al trascol i a l'escolament cortical d'àcids orgànics que es poden protonar.

Segons les hipòtesis presentades a l'apartat 5.3.8 el trascol net positiu d'alcalinitat (taula 5.3) prové principalment de la lixiviació. Per altra banda, en la distribució de variables de la deposició global (figures 5.9 a i b) l'alcalinitat es relaciona en el segon eix amb el Ca^{2+} (apartat 5.4.2.1) però, en canvi, al trascol i a l'escolament cortical (figures 5.8 a i b i 5.9 a i b), aquesta relació amb el Ca^{2+} és menor i hi ha una major relació amb el K^+ , que és un catió amb una clara procedència del procés de lixiviació (apartat 5.4.4.2). Això ens indicaria que l'enriquiment de l'alcalinitat al trascol es degut principalment a la lixiviació. Pot haver també un paper menor de la deposició seca, ja que hem trobat enriquiment de Ca^{2+} al trascol i a l'escolament cortical deguts a la deposició seca d'aerosols (apartat 5.4.4.1), que s'explica per la deposició de pols carbonatada d'origen local (apartat 5.4.2.1). Aquest aport serà més important a RP que a LC, ja que el trascol net de Ca^{2+} també és major.

Diversos treballs han demostrat la presència d'àcids orgànics procedents de la lixiviació al trascol i a l'escolament cortical (Hoffman et al, 1980b, McDowell and Likens, 1988, McClaugherty, 1983). En el nostre cas, no hem analitzat aquests compostos, i tampoc coneixem estudis que ho hagin fet en alzinars, però l'enriquiment de l'alcalinitat del trascol i l'escolament cortical es produeix probablement per lixiviació d'àcids orgànics provinent de la capçada. Tal com hem discutit a l'apartat 2.4.3, per obtenir un bon càlcul del pH caldria conèixer bé la composició química d'aquests àcids orgànics responsables de l'augment de l'alcalinitat del trascol i de l'escolament cortical.

5.4.5 Diferències en el trascol i l'escolament cortical entre LC i RP.

En aquest apartat resumim les principals diferències en la química del trascol i l'escolament cortical entre les zones de LC i de RP:

1) El trascol net ha resultat superior a LC que a RP (taula 5.3), per la majoria d'elements i per l'alcalinitat, tot i que això no s'ha reflexat en diferències significatives en els valors setmanals de les concentracions iòniques del trascol (apartat 5.3.4).

2) Les concentracions a l'escolament cortical han resultat significativament superiors a RP que a LC, excepte per l'alcalinitat (taula 5.7 i 5.8). Això és conseqüència de que l'escolament cortical de LC es produeix amb volums d'aigua majors, el que implica major dilució al escolament cortical de LC.

3) Hem trobat una major deposició seca d'aerosols a RP, de forma clara per SO_4^{2-} , Ca^{2+} i part de l'alcalinitat i menys clara pel Cl^- , Na^+ i Mg^{2+} . En el cas del NO_3^- i NH_4^+ sembla probable que també hi hagi una major deposició seca a RP que a LC (apartat 5.4.4.3). La deposició seca s'ha descrit com la via d'entrada principal de la deposició atmosfèrica en zones properes a les fonts de contaminació, de manera que la importància de la deposició seca disminueix amb la distància al focus emissor de la contaminació (Fahey et al, 1988, Lindberg and Lovett, 1986, Lovett, 1996, Pucket, 1990, Raison, 1991). La major deposició seca a RP és compatible amb la hipòtesi d'una major deposició atmosfèrica a RP deguda a la seva major exposició que LC a les fonts de contaminants, degut a la seva posició topogràfica.

4) Hem deduit aports de lixiviació més grans per K^+ , Mg^{2+} i alcalinitat a la zona de RP. Aquesta major lixiviació a RP podria relacionar-se amb el fet que a RP hi ha sòls més profunds i probablement un estat nutricional del bosc millor que LC, que es pot traduir en una major lixiviació tal i com s'ha vist en estudis de fertilització del bosc (Mahendrappa, 1983, Yawney et al, 1978).

5.4.8 Variabilitat espacial de la conductivitat entre els col.lectors de trascol

Estavem interessats en conèixer si el patró espacial de la conductivitat de l'aigua recollida pels diferents col.lectors es mantenia en el temps. Per fer-ho es va calcular una regressió per cada col.lector de cada zona entre la conductivitat recollida pel col.lector i la conductivitat mitjana dels tots els col.lectors per aquella setmana. Per aquest càlcul es van emprar únicament les dades de les setmanes en que es disposava del valor de conductivitat per cada col.lector (34 setmanes per LC, des del 3-11-94 al 25-6-96, i 28 en el de RP, des del 23-1-95 al 25-6-96). No s'inclouen per tant, les setmanes en que per poc volum d'aigua teniem només un valor de conductivitat global de tota la parcel·la (apartat 2.3.4. i tula 2.4). Els coeficients de determinació i els pendents de les rectes d'aquestes regressions per les dues zones es troben a la taula 5.13. Destaca en aquesta taula que totes les regressions van resultar significatives i amb coeficients de determinació força alts. És a dir, de manera similar al que passava entre el volum d'aigua recollit per cada col.lector i el volum mig de trascol (apartat 3.3.3.2), la relació entre la conductivitat setmanal de l'aigua d'un col.lector concret i la conductivitat mitjana setmanal del trascol d'aquella zona no varia significativament al llarg del temps. És a dir, hi ha una patró espacial robust al llarg del temps de la conductivitat del trascol.

Les setmanes que no han estat considerades en els càlculs de la conductivitat per falta de mostra, són precisament les de menor volum i, probablement, les que tenen desviacions més altes entre col.lectors. Per tant la variabilitat espacial de la conductivitat per tot el període està subestimada. Tot i això, si comparem els pendents de les rectes obtingudes per la conductivitat i les obtingudes pel volum d'aigua s'observa que el rang de variació espacial entre els col.lectors és més gran per la conductivitat que pel volum (veure taula 3.10).

Taula 5.17 Coeficients de determinació (R^2) i pendents de les rectes de regressió entre la conductivitat setmanal de cada col·lector de trascol amb la mitjana setmanal ponderada per volum de conductivitat de tot el trascol.

Parcel·la	Col·lector	La Castanya		Riera de Sant Pere	
		Pendent	R^2	Pendent	R^2
1	1	0,764	0,972	0,915	0,925
	2	0,448	0,895	1,110	0,679
	3	1,117	0,975	0,666	0,901
	4	0,581	0,948	0,502	0,900
	5	0,675	0,949	0,976	0,956
	6	1,148	0,957	0,749	0,877
	7	1,671	0,954	0,895	0,950
	8	0,797	0,952	0,721	0,817
2	1	1,925	0,936	1,075	0,831
	2	0,936	0,974	0,521	0,822
	3	1,645	0,960	0,908	0,897
	4	0,394	0,767	0,602	0,815
	5	2,737	0,945	1,409	0,783
	6	2,661	0,960	1,089	0,934
	7	1,624	0,965	0,537	0,786
	8	1,958	0,937	1,257	0,893
3	1	0,828	0,953	1,490	0,434
	2	0,549	0,834	0,792	0,566
	3	0,669	0,931	1,547	0,837
	4	0,898	0,949	1,267	0,930
	5	0,815	0,962	2,003	0,497
	6	1,365	0,976	2,556	0,700
	7	2,331	0,965	2,968	0,775
	8	0,678	0,901	2,478	0,732
4	1	0,456	0,848	0,725	0,780
	2	0,946	0,828	0,766	0,919
	3	1,413	0,954	1,100	0,848
	4	0,658	0,771	0,609	0,607
	5	1,112	0,872	1,277	0,833
	6	0,585	0,897	0,979	0,758
	7	0,805	0,943	1,319	0,843
	8	0,675	0,722	1,230	0,789

Per LC 34 setmanes entre el 3-11-94 i el 25-6-96 i RP 28 setmanes entre el 23-1-95 i el 25-6-96

Per relacionar la variabilitat espacial de la conductivitat amb algunes característiques estructurals del bosc, vam calcular una regressió múltiple per cada zona, amb el mètode de pas a pas, relacionant la mitjana setmanal de conductivitat de cada col.lector(Cond) amb una sèrie de factors que descriuen l'estructura dels arbres: la capçada dels quals es troba el col.lector: distància mitjana als troncs d'aquest arbres (DA), diàmetre mig ($\varnothing M$) i sumatori del gruix de capçada (GC); i amb la mitjana setmanal del volum del trascol (MT) (veure apartat 3.3.3.3). Els detalls de com s'han calculat aquestes variables estan a l'apartat 2.1.3 i els valors corresponents a cada col.lector a les taules 3.4 de l'apèndix.

De totes les variables testades, només la quantitat d'aigua ha resultat significativa, obtenint per LC:

$$\text{Cond} = 42.117 - 0.788 \text{ MT} \quad p=0.0058 \quad R^2=0.250$$

I per RP:

$$\text{Cond} = 70.564 - 1.571 \text{ MT} \quad p= 0.0228 \quad R^2= 0.170$$

Aquests resultats mostren doncs una relació negativa entre la quantitat de trascol recollida per un col.lector i la conductivitat d'aquesta aigua. És a dir, aquells col.lectors que recullen més aigua, tenen valors inferiors de conductivitat i viceversa. Tantmateix aquesta relació només explica un 25 % i un 17.2 % a LC i a RP respectivament de la variabilitat trobada entre els valors de conductivitat dels diferents col.lectors.

També vam calcular una regressió múltiple pas a pas entre la conductivitat mitjana setmanal de cada col.lector amb el coeficient de pluja lliure considerat a 5 escales espacial (veure apartat 2.2.2.1, els valors per cada col.lector es troben taules 3.5 de l'anexe). A LC la conductivitat mitjana setmanal per col.lector no ha presentat correlacions significatives amb cap dels coeficients de pluja lliure. A RP s'ha obtingut la següent equació

$$\text{Cond} = 50.816 - 0.00016 \text{ àrea}^3 + 0.002 \text{ àrea}^1 \quad p=0.003 \quad R^2=0.317$$

essent la R^2 aportada per la variable àrea 3 de 0.209 i per àrea 1 de 0.108.

És a dir, aquest resultat ens indica que una part de la variabilitat espacial entre la conductivitat de l'aigua de trascol a RP, s'explica per aquest coeficient de pluja lliure. De manera que si es considera un àrea més gran, l'àrea 3, la conductivita és més baixa quen més pluja atravesa la capçada sense ser interceptada, però si ens fixem en una àrea més reduïda, tot i que amb una significació menor, el resultat és el contrari.

Podem doncs afirmar respecte a la variabilitat espacial de la conductivitat del trascol que:

1) als alzinars estudiats hi ha una patró espacial robust en el temps en la distribució de la química del trascol, com s'ha descrit a altres boscos (Carleton and Kavanagh, 1990, Robson et al, 1994)

2) Hi ha una relació inversa significativa entre la variabilitat de la conductivitat del trascol i la variabilitat espacial del seu volum d'aigua. Tantmateix, aquesta relació explica un percentatge baix de la variabilitat espacial de la conductivitat del trascol (un 25 % en el cas de LC i un 17 % en el cas de RP).

3) No hem pogut relacionar la variabilitat de la conductivitat amb cap de les variables estructurals assajades (distància al tronc, diàmetre mig del tronc, gruix de capçada, coeficient de pluja lliure) pel bosc de LC. A RP només hem trobat una certa relació amb el coeficient de pluja lliure que ha resultat contradictòria depenent del àrea considerada. Mesures més acurades d'aquesta variable podrien ajudar a determinar millor aquest efecte.

Resumint doncs, la conductivitat del trascol en aquests dos boscos, LC i RP, manté un patró espacial robust al llarg del temps, que depén en part de la distribució espacial del volum d'aigua que arriba en forma del trascol, però que no està relacionada de forma clara amb cap de les variables estructurals assajades.

Capítol 6
Deposició atmosfèrica d'elements traça
a dos alzinars del Montseny

6 Deposició atmosfèrica d'elements traça a dos alzinars del Montseny

6.1 Introducció

Els metalls pesants presents a l'atmosfera poden tenir efectes tòxics sobre els éssers vius. No obstant alguns d'aquest metalls (Mo, Cu, Co, Zn, Mn, Fe i B) són també nutrients essencials per les plantes, els animals i l'home, i s'han descrit símptomes de deficiències d'alguns d'aquests metalls en boscos de diverses zones del món (Zöttl, 1985). Malgrat això, és indubtable que el major interès de l'estudi del contingut de metalls pesants en l'atmosfera prové dels diversos efectes tòxics que els contaminants metàlics produeixen directament sobre els éssers vius (Brown and Bechet, Ebrecht and Boldewijn, 1977, Loberli et al, 1991, Smith, 1990) o bé indirectament per la seva acumulació a diferents compartiments dels ecosistemes (Friedland et al, 1984, Neal et al, 1992, Norton et al, 1990, Reiners et al, 1975, Smith and Siccama, 1981). Per altra banda molt altres estudis han establert que l'acidificació dels sòl i de les aigües dolces provoca una major solubilitat d'alguns metalls i per tant l'augment de la seva toxicitat, en especial del Al i el Fe (Binkley et al, 1989, Loberli et al, 1991, Mayer, 1991, Reuss and Johnson, 1986, Smith, 1990).

Es coneixen bé les principals fonts d'alguns metalls traça presents a l'atmosfera: així el Pb procedeix sobretot del combustió de benzina en el transport rodat. El Ni i V i part del Zn i del Cd procedeixen de la combustió d'altres combustibles fòssils (en especial d'olis pel cas del V). Part del Cd, Cu i Zn procedix de fundicions secundàries de ferro i d'acer. El Mn i Cr provenen principalment de la producció de ferro, acer i aleacions de ferro, si bé el Mn, Fe i Cr en alguns cas procedeixen de emissions de sòl (Pacyna et al, 1990, Molnár et al, 1995, Pio et al, 1991). A Europa de l'Est s'ha enregistrat un augment dels nivells atmosfèrics de Zn, Cd i Pb associat a l'increment de la incineració d'escombreries (Injuk and Grieken, 1994, Molnár et al, 1995). Per altre banda, s'han descrit fonts naturals de metalls traça per aixecament de pols en zones àrides. Al Mediterrani Occidental, la presència de pols sahariana en

l'atmosfera està relacionada amb augments de la presència d'aerosols rics en Ni, Mn i Fe, (Chester et al, 1986, Mateu et al, 1996).

Una gran part d'aquests metalls poden viatjar a llargues distàncies i és possible trobar nivells apreciables de deposició atmosfèrica de metalls pesants en zones molt allunyades de les fonts de deposició (Zöttl, 1985, Mateu et al, 1996, Pio et al, 1991). Tantmateix, zones properes a les fonts d'emissió tenen nivells més alts de deposició (Godzik et al, 1995, Steinnes et al, 1994, Taylor et al, 1994).

Les estimes de deposició atmosfèrica de metalls pesants s'han basat sovint en mesures de concentració d'aquests elements en l'aire, a partir d'aquests valors i segons el tamany de partícula s'apliquen models per estimar el nivell de deposició (Ki-Hyun et al, 1995, Lovett, 1994, Molnár et al, 1995). També s'ha estimat aquesta deposició amb mesures de deposició global o humida (Chester et al, 1996, Molnár et al, 1995, Valenta et al 1986, 1986, Willen et al, 1981) que en alguns estudis incorporen també l'anàlisi del contingut en metalls pesants del trascol i l'escolament cortical (Ahmad-Shah and Rieley, 1989, Heinrichs and Mayer, 1980, Leininger and Winner, 1988, Mahendrappa, 1987, Petty and Lindberg, 1990, Skrivan, 1995, Zöttl, 1985) . Però en el cas concret d'alzinars , no coneixem cap treball que hagi analitzat el contingut de metalls pesants a l'aigua del trascol i escolament cortical, i en general, a la conca mediterrània aquest tipus d'estudis són molt escassos (Garcia et al, 1989). Les mesures de trascol i escolament cortical permeten investigar si els boscos tenen un paper de filtre que augmentaria la deposició d'aquests metalls pesants respecte a superfícies no forestades (Zöttl, 1985) , tal com ha resultat per altres elements més abundants a la deposició atmosfèrica (veure capítol 5).

Així, l'objectiu d'aquest capítol es establir si hi ha diferències en la deposició atmosfèrica d'alguns metalls pesants a dos alzinars del Montseny, amb una posició topogràfica diferent que implica una exposició contrastada a la influència de la contaminació procedent de la zona del Vallès Oriental i del Barcelonès (veure capítol 2). Per fer-ho, determinarem de forma comparada entre els dos alzinars :

i) El contingut de Cu, Pb, Mn, V, Zn, Ni, Cd, Co, Cr i Hg.de la deposició global, trascol i escolament cortical.

ii) La importància de les diferents formes de deposició atmosfèrica així com dels processos de capçada que poden modificar aquesta deposició.

iii) la variabilitat en el temps de la deposició atmosfèrica d'aquests elements i quins factors la influencien.

6.2 Material i mètodes.

6.2.1 Àrea d'estudi

El treball es va dur a terme a l'estació biològica de La Castanya (LC) i a Riera de Sant Pere de Vilamajor (RP), descrites al capítol 2. Com ja s'explica en aquest capítol introductori, la localització de LC, degut a la seva posició topogràfica, representa una posició relativament més protegida de la contaminació del Barcelonès i del Vallès Oriental que la localització de RP.

El mostreig de la deposició global, el trascol i l'escolament cortical i el protocol d'anàlisi es troben descrits al capítol 2 pel que en aquest apartat exposem únicament aquells aspectes metodològics que afecten especialment als resultats del present capítol.

6.2.2 Elecció dels metalls pesants a analitzar.

Els metalls pesants que s'han relacionat amb la contaminació atmosfèrica han estat força nombrosos: As, Al, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn, Zr (Heinrichs and Mayer, 1977, Injuk and Grieken, 1994, Mahendrapa, 1987, Mateu et al, 1996, Molnár et al, 1995, Pacyna, 1984, Parker, 1983, Zöttl, 1985). Per decidir quins d'aquests metalls s'analitzavem vam seguir els següents criteris:

1) El mètode analític que volíem utilitzar, l'espectrometria de masses per inducció acoplada de plasma (ICP-MS) té l'avantatge que permet analitzar un màxim de 15 elements a cada anàlisi. Per qüestions logístiques i econòmiques no era possible fer més d'un anàlisi per mostra, i com volíem incloure en el mateix anàlisi els cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ i K^+ , quedav fixat en 11 el nombre màxim de metalls a analitzar. Per altra banda, per alguns metalls pot haver solapament de corbes de resposta al mètode, pel que calia analitzar-los per separat, com era el cas del Al i del Fe, que van ser doncs descartats. Cal recordar també que les emissions atmosfèriques de Fe i, sobretot d'Al, es donen només per processos industrials molt específics i poc freqüents. A més la toxicitat associada a Al es deu principalment a la seva solubilització al sòl o a les aigües dolces per processos d'acidificació i no tant per la seva entrada a l'ecosistema en forma de deposició atmosfèrica (Reuss and Johnson, 1986, Smith, 1990).

2) Volíem escollir alguns metalls que fossin força abundants en l'atmosfera. Pacyna (1984) va fer una estimació de les emissions de metalls pesants dels diferents països europeus. En el cas d'Espanya els més abundants eren per ordre de major a menor: Pb, Zn, V, Cr, Cu, Ni, Mn, As, Cd, Co, Zr, Mo, Se, Sb i Be. De fet l'ordre varia poc entre els diferents països, de manera que a França, que per proximitat geogràfica semblava interessant considerar, l'ordre és molt similar excepte en el cas del Mn, Ni i Cu que inverteixen l'ordre.

3) També estavem interessats en incloure metalls pesants que fossin oligoelements per plantes i/o animals, com és el cas del Mo, Cu, Co, Zn, Mn i Fe.

4) Finalment, creiem convenient escollir metalls utilitzats habitualment en aquest tipus d'estudis en altres zones del món, per tal de poder comparar els nostres resultats amb aquets treballs. (Mahendrappa, 1987, Smith, 1990, SZöttl, 1985)

Així, amb aquests quatre criteris vam seleccionar els elements: Cu, Pb, Mn, V, Zn, Ni, Cd, Co, Cr i Hg, per al present estudi.

6.2.2 Qualitat analítica

Conjuntament amb les anàlisis de les mostres, es van realitzar 10 blancs amb l'aigua destil·lada de neteja que també s'emprava en el rentat d'embuts (veure apartat 2.2.1). Vam poder detectar Cu i Mn en dues mostres (mitjana de 0.519 i 0.114 $\mu\text{g L}^{-1}$ respectivament) i Zn i Cd a totes elles (7.26 i 0.56 $\mu\text{g L}^{-1}$ de mitjana respectivament). També es van analitzar 4 mostres de l'àcid utilitzat per acidificar les mostres i en cap de les 4 mostres es va detectar cap dels metalls analitzats.

No sembla raonable pensar que el fet de rentar el material de camp (bidons, tubs i embuts) amb aquesta aigua modifiqués el contingut en metalls pesants de les mostres de forma substancial ja que estaven ben secs abans de la seva col·locació. Cal considerar que les mostres de baixa concentració, que podien ser més sensibles a aquesta influència, coincideixen amb les de major volum, pel que hi hauria una dilució molt alta de la quantitat residual d'elements derivats de l'aigua de rentat del material. Per altra banda, les mostres de poc volum tenen concentracions molt altes. Així doncs la influència que aquest rentat pot tenir en la concentració de metalls pesants de la deposició global, el trascol i l'escolament cortical la considerem negligible.

En canvi, en el cas del rentat d'embuts, és aquesta mateixa aigua la que s'analitza i, a més en algun mostreig els valors no superen els valors obtinguts en els blancs. Pel que als valors de concentració setmanal de rentat d'embuts (apartat 2.2.1) els hi restem les mitjanes obtingudes en les 10 mostres d'aigua destil·lada.

6.2.3 Mostres faltants

Les mostres que per diferents motius no es van poder analitzar són les mateixes que en el capítol 5, pel que es va solucionar aquest problema de la mateixa manera que el descrit a l'apartat 5.2.4.

6.2.4 Concentracions per sota del límit de detecció

Degut a que en general aquests elements tenen baixa concentració, vam trobar bastantes mostres amb concentracions per sota del límit de detecció de la tècnica d'anàlisi. Una possible correcció en aquests casos es considerar com a valor de la mostra la meitat del límit de detecció. Quan hi ha molts valors que no superen el límit de detecció, aquesta aproximació resulta molt grollera. Així, en aquells casos en que hi havia moltes mostres (més del 30 %) que no superaven el límit de detecció, hem desestimat aquests resultats. En aquesta situació es troba: el Cr, el Co i el Hg en tots els tipus de mostres, el Ni a la deposició global i tots els metalls excepte el Mn i el Zn en l'aigua del rentat d'embuts.

6.2.5 Tractament estadístic

Tal com ocorre amb les dades del capítol 5 (veure apartat 5.2.6), els valors setmanals de concentració dels diferents metalls, així com els aportos setmanals dels diferents fluxos segueixen una distribució en forma de J invertida. A més, aquestes sèries presenten heteroscediscitat de variàncies. Per tant, sempre que hem utilitzat proves estadístiques que requereixen que les dades segueixin una distribució normal i tinguin variàncies homogènies hem aplicat a les dades la transformació: $\log(x)$, essent x la variable dependent. En cas de tenir algun valor 0 s'aplica la transformació $\log(x+1)$. La normalitat es valora per l'anàlisi dels residus de les diferents proves aplicades.

El nivell de significació emprat a totes les proves estadístiques presentades al capítol és de 0.05, si bé per alguns casos es detalla més acuradament la significació trobada.

Alguns dels resultats obtinguts en aquest capítol impliquen un nombre elevat de tests estadístics molt relacionats entre si. Tal com s'ha discutit a l'apartat 5.2.6 i poposa Rice (1998), utilitzarem el test seqüencial de Bonferroni, test no paramètric desenvolupat per Holm (1979), per recalculer la significació de cada test individual en aquells casos que hem fet servir un nombre molt elevat de test per provar una hipòtesi conjunta.

S'han calculat diversos anàlisis de components principals (ACPs) per ajudar a la interpretació de les correlacions entre els valors setmanals dels metalls. Les dades es van transformar amb el mètode de la màxima varianza. S'han utilitzat les variables normalitzades i els resultats s'expressen de forma gràfica. Només hem considerat aquells eixos que expliquen percentatges de la varianza comuna superiors a 10% en els ACPs d'ambdues zones.

6.3 Resultats

6.3.1 Concentracions de metalls pesants a la deposició global, al trascol i a l'escolament cortical

A la taula 6.1 es mostren les concentracions mitjanes ponderades per volum ($\mu\text{g L}^{-1}$) de la deposició global, del trascol i de l'escolament cortical. El Ni no es va poder detectar a la deposició global i el Cr, Co i Hg no es van detectar en cap dels tres fluxos de les dues zones.

Taula 6.1 Concentracions mitjanes ponderades per volum en $\mu\text{g L}^{-1}$ (sota l'error estandar ponderat per volum i sota el número de setmanes) dels tres fluxos d'ambdues zones. Per la Deposició global i el Trascoll dades del període del 23/1/95 al 25/6/96 i les de l'escolament cortical del 6/6/95 al 25/6/96.

	Cu	Pb	Mn	V	Zn	Ni	Cd
La Castanya							
Deposició global	0.715	0.643	4.33	0.505	23.3	nd	0.755
	0.567	0.526	2.84	0.317	17.5		0.920
	53	53	53	53	53		53
Trascoll	0.890	0.884	63.2	0.551	21.4	0.936	0.755
	1.61	1.73	139.9	0.387	73.8	0.868	2.21
	53	53	53	53	53	53	53
Escolament cortical	0.877	0.700	19.4	0.403	14.3	0.534	0.625
	0.306	0.158	3.36	0.087	3.48	0.177	0.197
	33	33	33	33	33	33	33
Riera de Sant Pere							
Deposició global	0.557	0.694	3.80	0.560	24.0	nd	0.721
	0.447	0.562	2.28	0.372	10.6		0.737
	52	52	52	52	52		52
Trascoll	1.36	1.28	90.4	0.980	25.2	1.09	0.774
	1.64	1.48	272.9	1.38	45.1	2.06	2.09
	49	49	49	49	49	49	49
Escolament cortical	1.09	1.07	75.5	0.822	20.5	0.764	0.763
	0.242	0.230	11.3	0.169	5.23	0.153	0.244
	37	37	37	37	37	37	37

A la deposició global d'ambdues zones el metall trobat en major concentració és el Zn, l'ordre de concentracions de la resta de metalls a ambdues zones es molt similar: Zn>Mn>Cd>Pb>Cu>V a la zona de LC i Zn>Mn>Cd>Cu>Pb> V a RP.

Les concentracions de Mn, Pb, Cu i V al trascol i a l'escolament cortical són superiors que les de la deposició global, excepte pel V a l'escolament cortical de LC (taula 6.1). El Mn és l'element amb major concentració al trascol i a l'escolament cortical d'ambdues zones (taula 6.2). Les concentracions de Zn i Cd al trascol són molt similars a les de la depòsició global en les dues zones (taules 6.1 i 6.2). En el cas de l'escolament cortical hi ha un empobriment de Cd i Zn respecte la deposició global, si bé és major pel Zn que pel Cd i a LC que a RP (taula 6.2).

Taula 6.2 Taxes d'enriquiment del trascol (Trascol/deposició global) i de l'escolament cortical (escolament cortical/deposició global) calculades a partir de les dades de concentracions i de conductivitat de la taula 6.1.

	Cu	Pb	Mn	V	Zn	Cd
La Castanya						
Trascol	1.25	1.38	14.6	1.09	0.918	1.00
Escolament cortical	1.23	1.09	4.48	0.798	0.614	0.828
Riera de Sant Pere						
Trascol	2.44	1.84	23.8	1.75	1.05	1.06
Escolament cortical	1.96	1.54	19.9	1.47	0.854	1.07

Unicament les concentracions de Mn i V de LC són clarament menors a l'escolament cortical respecte del trascol. En tots els altres casos les diferències en les concentracions de metalls entre el trascol i l'escolament cortical són molt petites.

En resum, en travessar les capçades, hi ha un enriquiment de Mn, Pb, Cu i V de les concnetracions a la deposició global a les dues zones. Pel Zn, les concentracions a la deposició global no resulta modificada per les capçades. El Cd té un comportament diferent segons la zona: a LC es comporta com el Zn, és a dir que no resulta pràcticament modificat per les capçades, mentre que a RP sí manifesta un enriquiment.

6.3.2 Aports anuals de metalls pesants a la deposició global, el trascol i l'escolament cortical

Els valors dels aportos anuals pel període entre el 6-6-95 i el 25-6-96 es troben a la taula 6.3 expressats com $\text{g ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$. En el cas de la deposició global de Mn i Zn s'ha inclòs també l'aport d'una fracció de la deposició seca gravitatòria obtingut mitjançant el rentat dels embuts, en el cas del Zn s'ha corregit l'aport del rentat d'embuts per evitar l'efecte de la contaminació de l'aigua destil·lada (apartat 6.2.2).

Taula 6.3 Aports (en $\text{g ha}^{-1} \text{ i any}^{-1}$) totals dels diferents fluxes a ambdues zones entre el 6-6-95 i el 25-6-96.

	Cu	Pb	Mn	V	Zn	Ni	Cd
La Castanya							
Deposició global*	6.78	6.06	45.6	4.71	237.1		9.09
Trascol	6.83	6.81	530.3	4.68	180.9	6.87	6.24
Escolament cortical	0.300	0.237	6.57	0.136	4.85	0.181	0.21
Trascol net	0.348	0.985	491.3	0.108	-51.4	7.05	-2.63
Riera de Sant Pere							
Deposició global*	5.71	6.84	44.9	5.62	206.5		7.25
Trascol	8.79	8.63	621.3	6.99	177.6	7.50	5.61
Escolament cortical	0.605	0.598	42.1	0.458	11.4	0.426	0.43
Trascol net	3.68	2.39	618.5	1.83	-17.5	7.92	-1.20

Els resultats de la taula 6.3 mostren aportos de trascol net positius dels metalls Cu, Pb, Mn i V a ambdues zones. En el cas del Ni, si bé no es pot calcular el trascol net ja que no l'hem pogut detectar a la deposició global, els valors de trascol obtinguts són similars als d'altres metalls. Pel Zn i del Cd trobem fluxos de trascol net negatiu a les dues zones. Cal destacar que en els metalls en que s'ha enregistrat trascol net positiu, aquest ha estat major a RP que a LC, i en els que s'ha obtingut trascol net negatiu el seu valor ha estat més negatiu a LC que a RP.

Tal com ocorre en el cas del volum de precipitació (veure capítol 3) i en els aportos de cations i anions principals i d'alcalinitat (veure capítol 5), el percentatge dels aportos de metalls pesants que arriben al sòl del bosc en forma d'escolament cortical respecte als aportos que arriben en forma de trascol són molt petits (taula 6.4). A més, a LC són clarament menors que a RP. Així a LC varien des d'un 1.22% en el cas del

Mn fins a un 4.2% del Cu, i, en canvi, a RP la variació no és tan àmplia, i va des del 5.37% de Ni fins als 7.11% del Cd.

Taula 6. 4 Percentatge que els aportes d'escolament cortical (EC) representen sobre el trascol total (TRT) (trascol+escolament cortical).

EC/TRT	Cu	Pb	Mn	V	Zn	Ni	Cd
La Castanya	4.2	3.36	1.22	2.82	2.61	2.57	3.26
Riera de Sant Pere	6.44	6.48	6.35	6.15	6.03	5.37	7.11

6.3.3 Diferències en concentració i aportes de metalls entre ambdues zones

Es van testar les diferències entre LC i RP en la concentració i en els aportes dels diferents metalls presents a la deposició global i a l'escolament cortical, mitjançant un test t-students de dades aparellades i de dues cues (apartat 2.5). Es van prendre els respectius valors setmanals de les variables a comparar com les rèpliques aparellades. Pel trascol, la comparació entre concentracions es va fer mitjançant un ANOVA amb la zona com factor i com rèpliques les mitjanes ponderades per volum de la concentració de cada metall a les 4 parcel·les de trascol. Per testar les diferències entre els aportes es va utilitzar com rèpliques els aportes anuals pel mateix període a cada una de les 4 parcel·les (apartat 2.5). Es van transformar les dades com $\log(x+1)$ per aplicar tots els tests.

Els resultats d'aquestes comparacions es troben a les taules 6.5 i 6.6. La concentració setmanal de la deposició global de Mn, Zn i Cd, i viceversa pel V i el Pb, ha resultat major a LC que a RP. Tanmateix, cap d'aquestes diferències ha estat significativa. En el cas del trascol i l'escolament cortical hem detectat una major concentració de tots els metalls a RP, si bé les diferències no han estat significatives per Mn, Zn, Ni i Cd al trascol i per Cu, Pb, Zn, Ni i Cd a l'escolament cortical (veure taula 6.5).

Quan calculem els aportes setmanals a la deposició global, trobem valors superiors de Pb i V a RP i de Cu, Mn, Zn i Cd a LC, però cap d'aquestes diferències resulta significativa (taula 6.6). Els aportes al trascol són superiors a RP en el cas del Cu, Pb, Mn, Ni i V, però només en el cas del V hi ha diferències significatives.