

**LIMNOLOGIA DE LA PART BAIXA DEL RIU EBRE I ELS
CANALS DE REG: ELS FACTORS FÍSICO-QUÍMICS, EL
FITOPLÀNCTON I ELS MACROINVERTEBRATS BENTÒNICS.**

**LIMNOLOGIA DE LA PART BAIXA DEL RIU EBRE I ELS
CANALS DE REG: ELS FACTORS FISICO-QUIMICS, EL
FITOPLANCTON I ELS MACROINVERTEBRATS BENTONICS.**

Vist i Plau
del Director:

Barcelona, Gener de 1990.

Narcís Prat

Isabel Muñoz Gracia

Departament d'Ecologia
Facultat de Biologia
Universitat de Barcelona

Memòria presentada per Isabel MUÑOZ GRACIA, a la Facultat de
Biologia, Departament d'Ecologia, de la Universitat de Barcelona, per a aspirar al grau
de doctor.

Dirigida pel Dr. Narcís PRAT i FORNELLS, Catedràtic d'Ecologia de la
Universitat de Barcelona.



La Riuada d'Enguany

El nostre riu, aquest riu que donà el nom a la península, ha tornat a vindre enguany molt ple, clamorós, sadollat d'aquella grandiositat que tantes vegades havia pres. El riu Ebre ve ample, majestuós, omplint-se fins a vessar, estenent per tot el seu curs un ample espill que repeteix la blavor del cel. El nostre riu ve bonic, grandió. Però també ens espanta aquesta grandiositat que tantes vegades va portar plors als habitants de les seves vores, destruint collites, ofegant animals, àdhuc cobrant-se amb vides humanes aquesta grandiositat.

Enguany també ha estat perillós. Ens ho diuen un pagesos que tenen les seves terres a la vora del riu. L'amplitud de la corrent gratava les vores dels seus horts, se n'emportà molta de terra de la vora, arbres que han quedat les arrels enlaire... El riu és bonic, majestuós, però també molt perillós.

Ara feia ja uns quants anys que no venien riuades d'aquesta magnitud. Aquests fets, però, ens fan recordar d'altres temps en què les riuades omplien de pavor i neguit tots els pagesos, tota la gent de la riba, amb els perills per als camps, per a les collites, per a les vivendes, per a les persones. Recordem que era freqüent que el riu s'inflés fins a

vessar per la plaça de l'Aube. La gent anaven a veure'l com creixia. I la notícia del seu estat corria de boca en boca per tota la població: A la plaça de Fidel ja només faltien tres escaletes... dues escaletes... per arribar al nivell de la plaça. Ja voreja la plaça. Ha saltat...! I la plaça s'omplia d'aigua; algunes vegades pujava fins negar bona part del carrer de Sant Joan, i el carrer de Sant Pere, i el raval de la carretera de la Ribera...

Hi han hagut moltes riuades que han deixat un record viu en la gent. Especialment es recorda aquella del 1907, una de les més fortes. En alguns masos de les vores del riu, per la Carrova, hem vist rajoles amb l'any i el nivell a que arribà.

L'any 1937 també va ésser forta. Es va omplir tant la ribera que els camions carregats de material de guerra no podien passar per la carretera que menava al pont penjat. Van tenir que encarregar-se bèsties de tir d'Amposta, amb cadenes, per arrastrar els gran camions fins passar-los aquell tros de carretera negada per l'aigua del riu.

Enguany, el riu ha baixat gros, inflat. Terres negades, horts als qui s'ha emportat molta terra, són les conseqüències d'aquesta riuada.

Les fotografies de la nostra publicació donen testimoni del nivells als que la riuada d'enguany ha fet anar l'aigua de l'Ebre.

DIARI D'AMPOSTA. FEBRER, 1978

Fàbio: Si bé s'és tan gran y tan poderós com lo veu, ja l'han vist assí gelat que no corria gens.

Don Pedro: Que hos deveu burlar, que és això imposible.

Fàbio: Jo us dich la veritat y així ho podeu créuer, que en lo any 1506 se gelà tot en lo mes de jaber, y fonch de tal gruxa y fortalesa que persones pasaren damunt de ell molt segurament y encara hi passà damunt de ell un home a cavall ab una mula y tanpoch no y prengué dany. També se troba escrit que en lo any 1442 se gelà altra vegada y fonch la vespra de Santa Llúcia, mas no fonch tan gran gelada com la darrera."

DESPUIG, G. Los col.loquis de la insigne ciutat de Tortosa

BAYERRI, E. Historia de Tortosa y su comarca

" CT, del 2 de agosto de aquel año escribia, en comprobación de esto: «La gente vieja de nuestra ciudad ha advertido que el estiaje actual del río Ebro, es el mayor que se recuerda de muchísimos años a esta parte.

Ha quedado al descubierto la quilla de la barca que se escapó incendiada del antiguo puente y quedó atascada en el centro del río. Han quedado en seco, además, algunas pilas de los puentes».

«Las consecuencias de la actual sequía empiezan a afectar a algunas de las fincas de la huerta, aquellas especialmente que se riegan con agua de pozo.

La escasez de caudal del Ebro obliga a algunos huertanos a dejar sin cultivo parte de sus huertos, porque no llega a los pozos de las norias el agua suficiente para el riego completo de los mismos».

La sequía fué tal que, como en casos similares de calamidad pública, fué trasladada a Tortosa la Virgen de la Aldea."

AGRAÏMENTS

Aquesta és la part de la memòria on es veu que en un treball d'aquest tipus participa i col.labora molta més gent que la persona que signa en la primera plana. Per això m'agradaria recordar a tots aquells que en un moment o altre han compartit una mica d'aquesta feina.

En primer lloc he d'anomenar en Narcís Prat que si bé va ser un professor al principi, a poc a poc ha estat un gran amic, amb ell he treballat, he viatjat, hem solucionat els problemes del món tot xerra que xerra i he compartit projectes, problemes, dubtes, etc. Ell i gent com en Xavier Millet, la Glòria González i la M. Angels Puig em van introduir en l'estudi dels rius i especialment dels macroinvertebrats del bentos.

Des d'estudiant el Departament d'Ecologia em va oferir la possibilitat de treballar i col.laborar en diferents projectes, clar que això ha estat facilitat per les beques que el Ministeri d'Educació m'ha concedit, primer una beca de col.laboració com estudiant i després al 1985 una beca de FPI amb la que vaig començar el doctorat.

Al 1985 vaig entrar a formar part del programa "Estudi integrat del delta de l'Ebre" per estudiar el flux de nutrients en el sistema i més especialment el funcionament del riu, això suposava treballar en una zona del riu Ebre de la qual se'n coneixia molt poc, cosa que per una banda pot ser molt més interessant però per l'altre suposa començar de zero. Dintre d'aquest projecte hem passat moltes estones divertides tot l'equip del delta amb en Jordi Camp, en Javier Romero, en Paco Comín, en Narcís Prat i els "matxaques": la Montse, en Joan Ramón, la Marta i la Margarita. Recordo molt bé les hores dels sopars (per que dinars pocs feiem), les nits a la caseta de l'Encanyissada, els mosquits i altres bèsties que hem deixaven feta un mapa i aquells viatges de tortura amb el Land Rover on moltes vegades ens tocava viatjar darrera, en mig de les mostres, les bombes de filtrar, ah! i les "campanes" i "xisteres"...

Seguint amb les campanyes, molta gent m'ha donat un cop de mà en algun moment, en Carles Ibañez, el qual ara es rebenja i em fa treballar a mí (a veure si aviat surten resultats); en Raül Escosa (sembla que les rates donen més que això de la Limnologia); la Montserrat Real i la Maria Rieradevall i els estudiants que van venir a treballar l'estiu del 87, algunes de les dades que van treure surten en aquest treball.

Amb en Francesc Ruana del Consorci d'Aigües de Tarragona hem intercanviat dades i sempre ens ha deixat tot el material que anava recollint sobre el riu.

El Parc Natural del Delta de l'Ebre ens ha permès sempre, utilitzar les seves

instal·lacions i el seu material, especialment la barca Zodiac amb conductor i tot. El Museu d'Amposta i especialment el seu director l'Àlex Farnós, va posar a la meva disposició tot el material bibliogràfic que han recollit en la biblioteca del museu.

La Societat General d'Aigües de Barcelona, i especialment el Sr. Narcís Salvatella i el Sr. Jesús Solé, m'han permès utilitzar el seu laboratori per fer els anàlisi de carboni orgànic dissolt.

Al Servei Meteorològic de Roquetes i a la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre, per enviar-me tan amablement totes les dades que he necessitat.

També vull agrair molt especialment la feina que ha fet en Sergi Sabater identificant totes les mostres del fitoplàncton, amb ell també he passat moltes estones parlant de quant dura era la vida del científic. Al Xavier Millet per ajudar-me en la part estadística, per revisar el manuscrit i per dir-me que estava encantat sempre que li demanava un favor.

No puc oblidar a tota la gent del Departament amb els que he compartit tots aquests anys i un record més especial per les "companyes de lluites de tercer cicle" (quantes reunions haurem fet durant aquests temps, Maria o Pilar?). A la gent de la zona de bentos (Carme, Damià, Eugènia, Joan Lluís, Jordi, M. Antònia, M. José, Martas, Mikel, Montserrat, Nury, Olga, Quico, Toni...) per totes les estones de treball i d'esbarjo...

Al Josep Antòn per estar sempre a disposició per resoldre els meves dubtes (inclús per telèfon) i donar-me consell, i si més no per compartir la taula.

I fora de l'ambient universitari no oblidó a la meva família per facilitar-me i ajudar-me a fer la carrera sense demanar res a canvi, espero que aquest treball sigui una bona compensació. Al Miguel Angel per tot el que hem compartit junts tants anys i als meus amics de l'Esplai, amb els que he passat tantes històries i histèries, i als que ara són els meus amics però que fa una anys encara eren els "nanos" del grup.

A tots moltes gràcies.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	3
1. PRESENTACIÓ DEL MEDI	5
1.1. Resum geològic i geogràfic de la conca	5
1.1.1. Localització geogràfica	5
1.1.2. Estructura geològica	7
1.2. Climatologia	9
1.2.1. Generalitats	9
1.2.2. Zona d'estudi	10
1.2.2.1. Precipitacions	10
1.2.2.2. Temperatura	10
1.2.2.3. Vents	10
1.3. Règim hidrològic	12
1.3.1. Generalitats	12
1.3.2. Règim hidrològic durant l'estudi	13
1.4. La utilització de l'aigua com a recurs	17
1.5. Característiques generals de la zona d'estudi	20
1.5.1. Característiques físiques	20
1.5.1.1. Riu	20
1.5.1.2. Canals	22
1.6. Estacions d'estudi	22
1.6.1. Riu	23
1.6.2. Canals	25
1.7. Hipòtesi de treball	26
1.7.1. Objectius	26
1.8. Metodologia	27
1.8.1. Calendari de mostreig	27
1.8.2. Protocol de mostreig	28
1.8.2.1. Mostreig físico-químic	28
1.8.2.2. Mostreig biològic	31
2. EL MEDI	32
2.1. Canvis en el temps al llarg de dos cicles anuals dels principals factors físico-químics	32
2.1.1. Temperatura	32
2.1.2. Conductivitat	34
2.1.3. pH	41
2.1.4. Alcalinitat i carboni inorgànic	43
2.1.5. Oxigen	46
2.2. Nutrients: canvis temporals	50
2.2.1. Nitrogen	50
2.2.1.1. Nitrat	51
2.2.1.2. Nitrit	54
2.2.1.3. Amoni	57
2.2.2. Fòsfor	60
2.2.2.1. Ortofosfat	60
2.3. Variacions temporals de la concentració del material particulat	63
2.3.1. Sòlids en suspensió	63
2.3.2. Matèria orgànica	72
2.3.2.1. Matèria orgànica particulada	72
2.3.2.2. Carboni orgànic dissolt	75
2.3.2.3. Carboni orgànic particulat	76
2.3.4. Nitrogen particulat	80
2.3.5. Fòsfor particulat	87
2.4. Canvis en les relacions de carboni, nitrogen i fòsfor	90



2.5. Transport total de material cap el mar	94
2.5.1. Transport de material al llarg de l'any.	96
2.5.2. Transport de material en els anys estudiats	98
2.6. Estudis intensius en el temps	101
2.6.1. Resultats cicle diari febrer, 1986	101
2.6.2. Resultats cicle diari juliol, 1987	103
2.7. Estudis intensius en l'espai (falca salina).	105
2.7.1. Estructuració vertical a la zona estuarina.	105
2.7.2. La falca salina i els seus canvis en una situació determinada	106
2.7.2.1. Metodologia	106
2.7.2.2. Resultats	106
2.8. Conclusions	114
3. LA COMUNITAT FITOPLANCTÒNICA	124
3.1. Introducció	124
3.2. Metodologia	124
3.3. Concentració de pigments i índex D430/D665	125
3.4. Abundància i canvis espacio-temporals dels grans grups fitoplanctònics	128
3.5. Evolució dels tàxons més característics	132
3.6. Conclusions	135
4. LA COMUNITAT BENTÒNICA	141
4.1. Metodologia	141
4.1.1. Colonització de les pedres del llit del riu	141
4.1.2. Utilització de substrats artificials.	143
4.1.3. Altres mètodes: <i>surber</i> , <i>kiking</i>	144
4.2. Resultats	144
4.2.1. Examen de la població des del punt de vista tròfic.	147
4.2.2. Organismes del bentos associats a les pedres.	151
4.2.2.1. Estudi en el temps de la comunitat reòfila de les pedres.	154
4.2.2.2. Heterogeneïtat en l'espai, en condicions de corrent diferents	159
4.2.3. Població de macroinvertebrats a Tortosa. Substrats de tipus sorrenc	161
4.2.4. Estudi de la població de macroinvertebrats a l'estació d'Amposta. Efecte de la falca salina.	164
4.3. Conclusions	168
5. CONCLUSIONS GENERALS	170
BIBLIOGRAFIA.	175
APÈNDIX	185

INTRODUCCIÓ

Aquesta memòria forma part d'un estudi multidisciplinar més ampli, que porta com a títol: "Estudi integrat del Delta de l'Ebre. Factors determinants de la producció biològica". L'objectiu principal d'aquest estudi era investigar els mecanismes que condicionen la producció biològica en tot el sistema deltaic (riu, canals de reg, camps d'arrosars, llacunes, badies i mar) i on participaven l'Institut de Ciències del mar (CSIC), l'Institut de Química Bioorgànica (CSIC) i el Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona. El projecte ha estat subvencionat per la CAICIT amb número AC 16/84.

Dintre d'aquest programa general nosaltres varem treballar en l'estudi i quantificació dels fluxes de carboni, nitrogen i fòsfor en forma particulada i dissolta, que des del riu desembocaven en el mar o entraven en els canals, en el nostre cas només de la part dreta del delta, i des d'aquests anaven a parar a les llacunes litorals o a les badies. A partir d'aquesta idea i a mida que varem començar a treballar en el riu molts altres aspectes van completar el primer objectiu proposat. Així es va estudiar l'efecte de la falca salina en el riu en els moments d'estiatge, el comportament de zones del riu amb característiques morfològiques diferents, la composició de la comunitat de fitoplàncton com a principal component del material en suspensió de l'aigua del riu i la població de macroinvertebrats del bentos, com element important en el procés del material particulat i del funcionament general del riu.

L'originalitat d'aquest treball, si així es pot considerar, és l'estudi del flux de nutrients en la part baixa d'un riu força important en la conca del Mediterrani i del qual no en coneixem gaire. A la part baixa de l'Ebre hi ha treballs que tracten la comunitat de peixos (SOSTOA i LOBON, 1985), les seves característiques geomorfològiques (VERDAGUER et al., 1985) o la importància socio-econòmica del riu per les comarques de la zona (SORRIBES i GRAU, 1985). Altres treballs són excessivament antics (ARAGON, 1943) i es remonten a abans de la construcció dels embassaments.

Tampoc hi han estudis a nivell nacional sobre el flux de materials particulats o dissolts en rius grans i més particularment en zones estuarines, només en els dos o tres darrers anys han aparegut alguns treballs sobre l'estuari del Guadalquivir (TOJA et al., 1986; GUISANDE i TOJA, 1987).

Aquest treball a més, és un nou estudi a afegir a la llista de la recerca sobre sistemes fluvials de Catalunya que des de fa uns anys desenvolupa el Departament d'Ecologia. Entre els primers trobem els que es van realitzar en el Llobregat (PRAT et al., 1982, 1983, 1984) i més endavant en el Ter (SABATER, F., 1987; SABATER, S., 1987), el

Segre (PALAU et al., 1985) i el Foix (PRAT et al., 1985) entre d'altres.

La primera part de la memòria situa el treball dintre del seu marc geogràfic i presenta els objectius a estudiar, les estacions de mostreig i una síntesi del protocol i la metodologia emprada. Els resultats comencen en el capítol segon amb les característiques físico-químiques de l'aigua que travessa el sistema deltaic ja sigui a través del riu o dels canals de reg. En el capítol tercer trobarem l'estudi de la comunitat del fitoplàncton que es desenvolupa en el riu i en el quart capítol es presenta una visió descriptiva de la població dels macroinvertebrats que viuen en el llit del riu. Per acabar hi ha una part final on es fa una discussió general.

Finalment cal dir que a partir d'aquest treball s'obren molts interrogants sobre aspectes més concrets del funcionament de la part baixa de l'Ebre que caldrà analitzar en estudis posteriors. Alguns d'aquests temes ja s'estan portant a terme, esperem que s'en puguin endegar molts altres, això és només el principi.

1. PRESENTACIÓ DEL MEDI

1.1. RESUM GEOLÒGIC I GEOGRÀFIC DE LA CONCA

1.1.1. LOCALITZACIÓ GEOGRÀFICA

La conca de l'Ebre situada al NE de la Península Ibèrica, entre els 43°05' de latitud nord, els 2° de longitud est i els 4°20' de longitud oest, és la conca peninsular amb major extensió superficial, uns 85550 km² i una de les conques més importants del Mediterrani. La longitud màxima des del naixement, al Pic de Tres Mares (Cantàbria), fins a l'illa de Buda, a la desembocadura, és de 520 km (928 km de curs fluvial real amb grans meandres en el seu recorregut). L'amplada extrema de la conca arriba en línia recta als 270 km, des d'Andorra a Cantavieja (Terol). A la desembocadura forma un important delta de 320 km² de superfície.

Hidrogràficament limita al nord amb la conca atlàntica francesa del Pirineu i la conca del nord d'Espanya, amb la del Duero a l'oest, les del Tajo i Xúquer al sud, i la del Pirineu Oriental a l'est. De manera que els límits de la conca queden demarcats per les muntanyes Basco-cantàbriques, Pirineus, Sistema Ibèric i serralada Costero-catalana.

El riu comença el seu trajecte descendent recollint les aigües de la serralada Basco-cantàbrica i del Pirineu de Navarra, els rius Nela, Zadorra, Ega, Arga i Aragón canalitzen les principals aportacions de la part alta de la conca (fig. 1). Després canvia la direcció cap a l'est fins arribar a Miranda, i seguidament entra a la depressió de l'Ebre pròpiament dita. A partir d'aquest punt el riu passa pels materials miocènics i pliocènics des de La Rioja fins a Sàstago a través de tota la vall aragonesa. En aquest tram mitjà el riu rep els afluents més importants del seu curs, d'origen pirenaic: Gállego i el sistema Cinca-Segre. Des del Sistema Ibèric arriben altres afluents de poc cabal i amb importants estiatges com l'Alhama, el Jalón, Martín, Guadalope i Matarranya.

L'Ebre torna després de Mequinensa a encaixonar-se en els terrenys secundaris amb direcció nord-sud. A la sortida de Xerta deixa definitivament aquests materials i passa als quaternaris del pla de Tortosa. A Amposta el riu forma un revolt agafant la direcció est-oest arribant al delta amb un recorregut d'aproximadament 30 km fins al mar.

1.1.2. ESTRUCTURA GEOLÒGICA

L'actual conca de l'Ebre començà a formar-se a partir del procés d'orogènesi alpina (fa uns 25 milions d'anys), amb l'aixecament de les serralades pirinenca i ibèrica i el conseqüent esfonsament del Massís de l'Ebre, que ocupava el lloc de l'actual depressió de l'Ebre (CHE.,1976). En el seu esfonsament s'anà configurant una gran cubeta tancada que originà un gran llac interior alimentat pels joves rius pirinencs i ibèrics. Aquest llac va seguir un procés de curullament de la cubeta per efecte de l'erosió meteòrica i fluvial dels massissos que l'envoltaven. Al final de l'era terciària, i com a conseqüència dels darrers moviments del plegament alpí, el llac s'obrí pas a través de la serralada Costero-catalana cap al Mediterrani. En el Pliocè l'Ebre havia tallat ja el pas de Benifallet i desembocava prop de Xerta.

Finalment ja al Quaternari afluirien les convulsions terciàries, i els successius períodes glaciars i interglaciars marcaren el ritme dels esdeveniments del cicle erosiu. Després de l'última glaciació fa uns 20000 anys el nivell del mar començà a pujar, el riu anà dipositant les graves a la desembocadura, les quals amb els dipòsits dels peus de muntanya locals formaren el substrat del delta. Fa uns 4000 anys, quan s'havia arribat a un nivell del mar pròxim a l'actual, s'inicià el desenvolupament de la planura deltaica d'ara, damunt dels dipòsits anteriors (CHE., 1976).

Passem ja a explicar la distribució present dels materials a la part baixa del riu Ebre. Segons GRAU i SORRIBES (1985), els materials secundaris que integren les muntanyes comarcals (fig. 2) són dipòsits marins de calcàries i dolomies del triàsic mitjà; i argiles i guixos corresponents al triàsic superior. Al juràssic inferior trobem calcàries amb algun llit de margues intercalades, i predomini de materials dolomítics als pisos superiors. Les calcàries apareixen al costat de margues i argiles en els dipòsits cretácis. Els terrenys terciaris són representats únicament per elements pliocènics, margues marines a la base que van passant cap a dalt a conglomerats continentals. Aquests resten soterrats a la plana del baix Ebre pels detritus quaternaris, més recents, i es mostren en la superfície només en una franja molt estreta, a banda i banda del riu.

La vall del baix Ebre és una vall típica de reompliment. El seu basament correspon als estrats cretácis del bloc enfonsat, sobre el qual s'assenten els dipòsits quaternaris. El quaternari és caracteritzat per la diversitat i barreja d'ambients sedimentaris (fluvials, eòlics, lacustres, etc.). Els dipòsits de peu de muntanya provinents dels materials secundaris dels blocs elevats, que foren intensament erosionats, formen una plataforma des del peu de la serralada fins a la plana deltaica. Aquesta capa consta d'argiles i llims rojos, procedents d'antics sòls muntanyencs, al costat d'intercalacions de conglomerats sòlids focats per cantells calcaris, travats per un ciment calcari rogenc. En el reompliment de la depressió també han intervingut els carreteigs fluvials, dipositats a

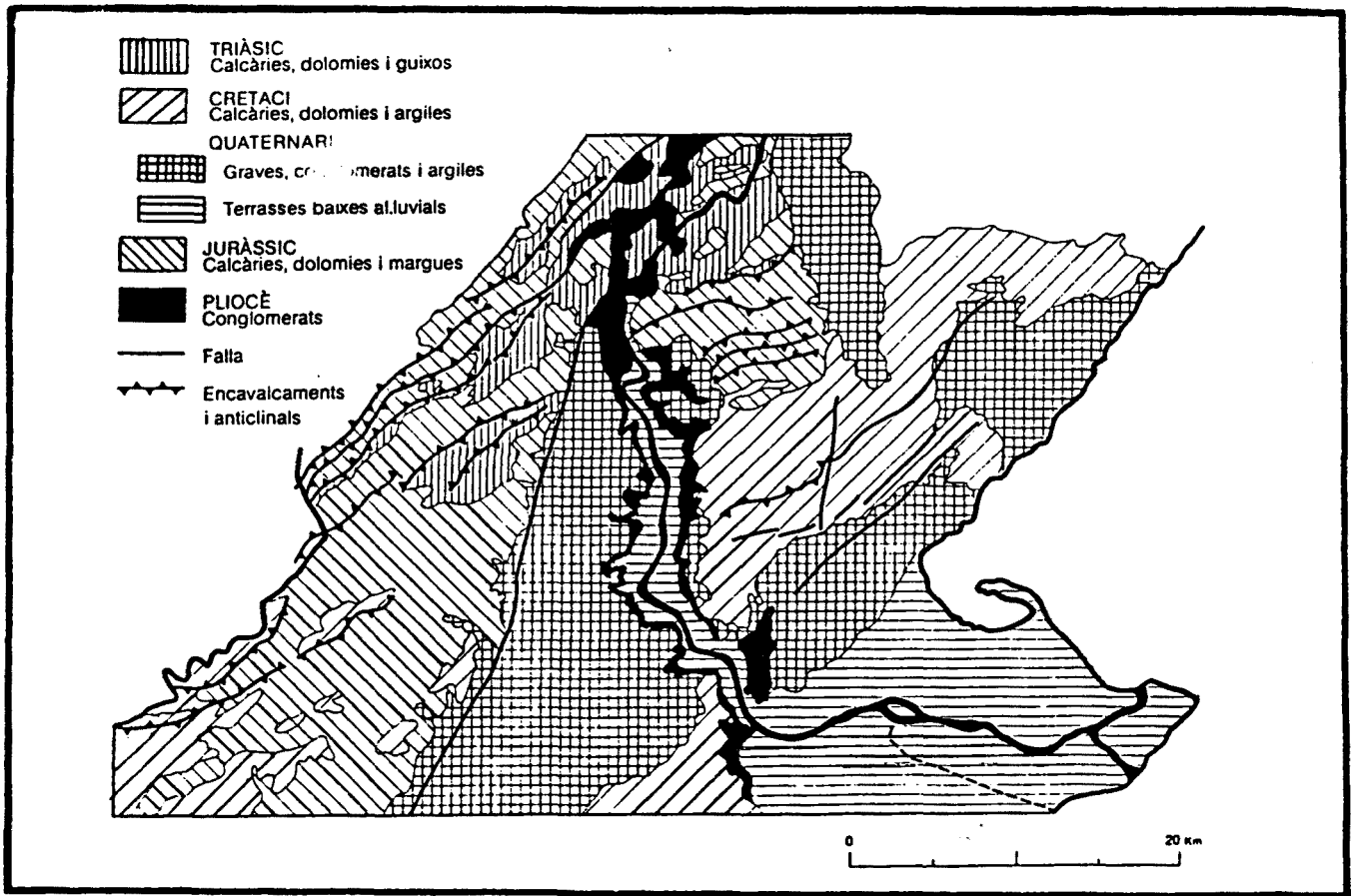


Fig. 2 : Mapa geològic de la part baixa de l'Ebre. Font: GRAU i SORRIBES (1985).

poca altura sobre el nivell actual del riu.

La plana deltaica ha estat construïda per les deposicions en ambients fluvials, palustres, fluviomarins o estrictament marins.

1.2. CLIMATOLOGIA

1.2.1. GENERALITATS

Tot i que la localització de la conca de l'Ebre correspon a l'àrea europea de clima mediterrani, la gran extensió i heterogeneïtat de la conca fan que hi hagi una gran varietat en les característiques climàtiques de cada lloc. En aquest sentit, i a nivell general, podem distingir diferents climes en funció de les temperatures, precipitacions i altres característiques:

- Clima d'influència atlàntica, es dona a la capçalera de la conca. Amb temperatures fredes a l'hivern i suaus a l'estiu; precipitacions abundants i regulars (poden arribar a 1500 mm l'any) a causa de la influència del Cantàbric.

- Clima de muntanya, als Pirineus i parts altes del Sistema Ibèric. Temperatures fredes a l'hivern i suaus a l'estiu. Precipitacions abundants (mitjanes de 1000 mm anuals).

- Clima continental de muntanya, a tot el Pre-pirineu i Sistema Ibèric. Correspon a les zones amb temperatures mitjanes més baixes, fredes a l'hivern i càlides a l'estiu. Precipitacions abundants i irregulars (500-700 mm).

- Clima continental, localitzat a la part central de la depressió de l'Ebre (Saragossa, sud d'Osca, sud de Navarra, est de La Rioja i la comarca catalana del Segrià). Temperatures fredes a l'hivern i força càlides a l'estiu. Plugues escasses i irregulars, menors de 300 mm l'any.

- Clima continental-mediterrani, es dona a les comarques de la Terra Alta i Ribera d'Ebre. Temperatures moderades, fredes a l'hivern i càlides a l'estiu. Precipitacions irregulars que es concentren a la primavera i tardor.

- Clima mediterrani, de la franja costanera de la conca (comarques del Baix Ebre i Montsià). Temperatures suaus a l'hivern i els estius són secs i calorosos. Precipitacions concentrades a la primavera i tardor (500-600 mm anuals) quan es generen depressions a la Mediterrània.

1.2.2. ZONA D'ESTUDI

El temps meteorològic de la zona de la part baixa del riu Ebre és típic mediterrani litoral. Els hiverns són tebis, sense temperatures extremadament baixes, poc plujosos i amb vents secs dominants de component N i NO. Els estius són calurosos amb temperatures de 25-30°C. Les precipitacions anuals són escasses i irregulars i es concentren a la primavera i tardor. La humitat atmosfèrica és important durant tot l'any.

1.2.2.1. Precipitacions

Les dades climatològiques presentades corresponen a les recollides durant el període d'estudi per l'observatori de l'Ebre situat a Roquetes (Tortosa).

Durant els anys 1986 i 1987 el mes més plujós va ser l'octubre amb valors propers als 200 mm (fig. 3). La primavera de 1986 va ser més humida que la de l'any següent, mentre que succeí el contrari amb l'hivern.

Els estius es van caracteritzar per una pluja escassa. Durant l'estiu de 1986 la pluja es va concentrar en un pic a l'agost i al setembre, a l'estiu de 1987 però, les pluges van estar més repartides.

1.2.2.2. Temperatura (fig. 4)

La temperatura mitjana anual va ser de 17°C en els dos anys estudiats. La distribució de temperatures durant tot el període presenta un patró similar, temperatures al voltant de 20°C a l'estiu amb màximes que poden arribar fins a 40°C (agost 87) i hiverns suaus amb temperatures mitjanes de 10°C. Podem observar que només en els mesos de gener i febrer s'arriba a mínims sota zero: -0.2°C i -1.3°C respectivament.

1.2.2.3. Vents

Els vents en la zona d'estudi són importants per la seva intensitat i durada (GRAU i SORRIBES, 1985). La velocitat màxima mitjana a l'hivern és de 50 km/h i a vegades supera els 100 km/h. El mestral o "vent de dalt" bufa del NO i la tramuntana, del N; tenen una durada de tres o quatre dies i solen aparèixer en condicions atmosfèriques rigides per les baixes pressions pròximes a la Mediterrània i les altes sobre la península; són canalitzats a la depressió de l'Ebre i accelerats pels relleus.

Els llevants són humits i temperats de direcció NE-E-ESE, són menys freqüents però importants perquè poden dificultar el drenatge de la zona. El xaloc (SE) i migjorn són aires carregats d'humitat perquè vénen del mar.

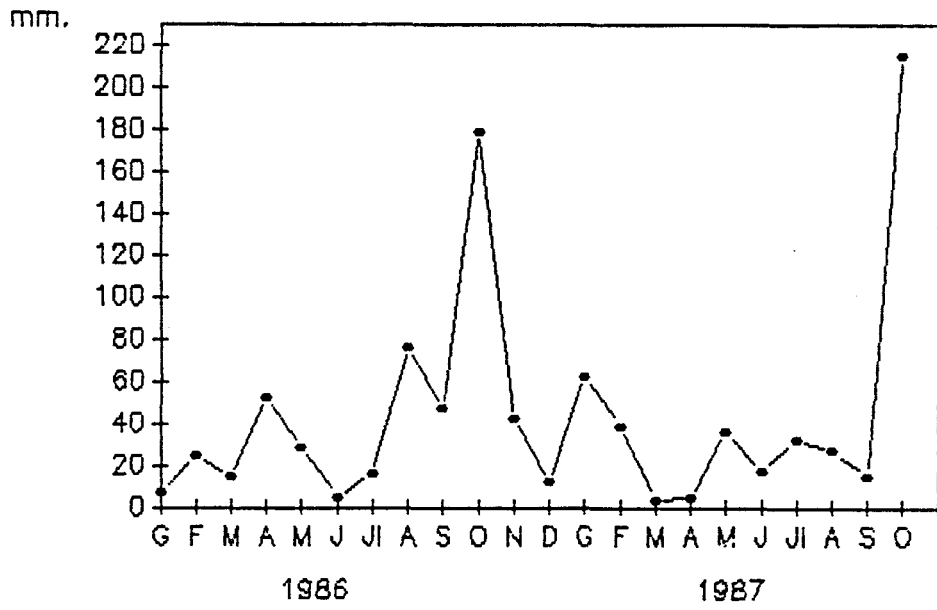


Fig. 3 : Precipitació mitjana mensual durant el període d'estudi. Mesures fetes a Tortosa.

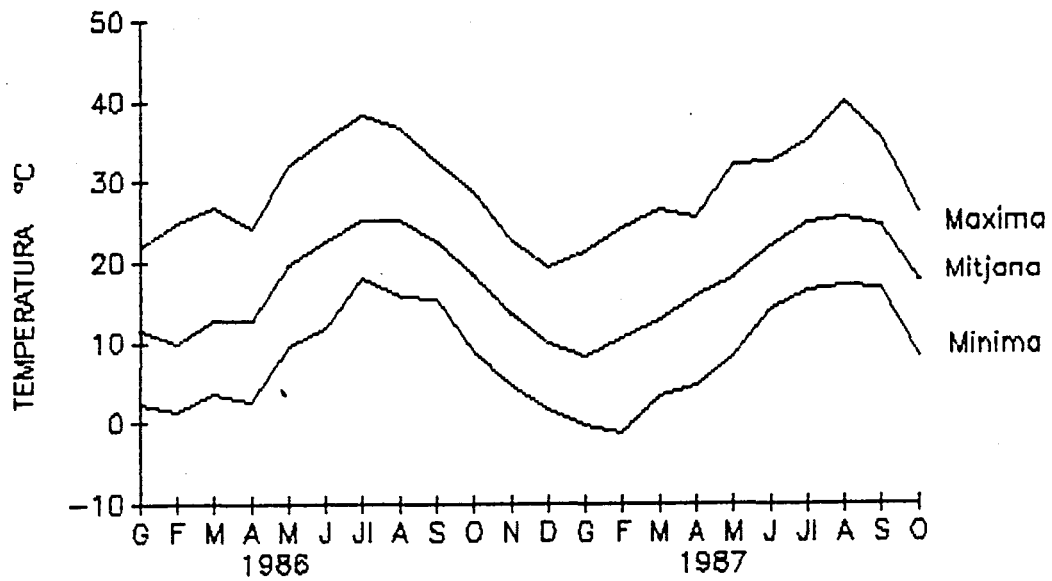


Fig. 4 : Temperatures mitjanes mensuals, mínimes i màximes, a Tortosa.

1.3. RÈGIM HIDRÒLOGIC

1.3.1. GENERALITATS

La dinàmica d'un riu ve caracteritzada fonamentalment, per les variacions estacionals del seu cabal. La distribució estacional i el tipus de precipitacions, el relleu, l'orientació de la conca, la regulació i els factors biòtics tenen un paper decisiu en aquestes variacions. Per fer una caracterització hidrològica de la conca de l'Ebre podem dividir-la en tres zones segons les característiques del règim fluvial (CHE., 1976):

- L'Ebre d'influència cantàbrica: correspon al tram de riu comprès entre el naixement i la confluència del riu Aragón (uns 400 km). L'Ebre presenta un règim de tipus pluvio-nival a causa del caràcter cantàbric i muntanyenc dels seus afluents. El règim és força regular amb màxims a la primavera. Els estiatges són atenuats i les crescudes discretes. L'afluent més important d'aquesta zona és l'Aragón, que juntament amb el seu afluent l'Arga, forma un eix hidrològic que aporta tant cabal com l'Ebre en aquest tram.

- L'Ebre d'influència continental: és la zona que correspon a l'Ebre aragonès fins a la confluència amb el Segre. En aquest tram el riu ha de creuar els terrenys més àrids de la conca, amb uns índexs d'evaporació i escolament importants que fan minvar el cabal. Per altra banda, les aportacions dels afluents són poc importants, només cal destacar el Gállego, a la banda esquerra, que drena les aigües de bona part del Pirineu Central. Els rius ibèrics de la part central i oriental de la conca presenten força irregularitat molt influïda per determinants locals. Són rius de cabal pobre que drenen terres de poca alçada i poc irrigades amb crescudes petites a finals de primavera o principi d'estiu com a conseqüència de tempestes esporàdiques. Presenten estiatges acusats.

- L'Ebre d'influència pirinenca-mediterrània: comprèn els darrers 150 km. El règim del riu està en funció del règim del sistema Cinca-Segre que drena la meitat oriental del Pirineu, i del qual l'Ebre rep l'aportació més important de la conca. El règim d'aquests rius pirinencs és nivo-pluvial, amb màxims de maig-juny per efecte del desgel i mínims a l'estiu i a l'hivern per la retenció nival. A la tardor es poden presentar màxims relatius producte de les pluges.

La influència mediterrània es redueix als aports d'afluents com el Matarranya (per la dreta) i el Ciurana (per l'esquerra), els quals drenen les aigües dels Ports de Beseït i del massís del Montsant, respectivament. Són rius molt irregulars i molt poc cabalosos amb màxims a la tardor i primavera i mínims a l'estiu.

1.3.2. RÈGIM HIDROLÒGIC DURANT L'ESTUDI

Les dades hidrològiques emprades per nosaltres corresponen a les mitjanes diàries recollides per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre a l'aforament situat a Tortosa.

Si observem l'hidrograma (fig. 5) del període d'estudi veiem que la part baixa de l'Ebre es caracteritza hidrològicament per cabals mínims a l'estiu i hivern i màxims a la primavera. Aquest és un hidrograma típic de règim nivo-pluvial, això demostra que la part baixa del riu està determinat al règim del sistema dels rius Cinca i Segre que aporta un cabal molt important als darrers 150 km.

Hi ha també certes diferències entre els dos anys estudiats, el 1986 tenim cabals màxims des de finals de l'hivern fins a juny, excepte els valors mínims que s'observen a finals de març. Durant aquest mateix any l'estiatge s'estén al llarg dels mesos de juliol, agost i setembre, a la tardor torna a pujar relativament el cabal per tornar a baixar a l'hivern per efecte de la retenció nival. Els màxims de la primavera de 1987 tenen una durada més curta que l'any anterior. Des del mes de maig fins a principis d'octubre trobem els cabals mínims d'estiu, que són més moderats (aproximadament uns $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de mitjana) que els de l'any 86 (amb cabals de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Els cabals trobats en els dies de mostreig s'assenyalen amb una fletxa a la figura 5 i queden representats a la figura 6. Quantificant el cabal total que el riu portava durant aquests dos anys, trobem que durant l'any 1986 el cabal estimat és de 7555 hm^3 , i de 8000 hm^3 l'any 1987.

La climatologia de la zona de la part baixa de l'Ebre determina molt poc el règim hidrològic del riu en aquesta zona, que respon més al règim dels seus afluents pirinencs. Altres variacions intermensuals no són naturals i estan subjectes a les necessitats d'aigua per fins hidroelèctrics o d'irrigació regulades pels embassaments.

La relació entre la regulació dels embassaments i els canvis en la descàrrega anual queda ben palesa quan representem la mitjana mensual dels fluxos abans i després de la construcció dels embassaments amb les dades obtingudes en els darrers 75 anys (MALDONADO, 1977; MOP, 1972-1985). La descàrrega hivernal ha estat reduïda (fig. 7) de forma important i els màxims s'han desplaçat cap a finals de la primavera. Els cabals mínims es mantenen a l'estiu. A més es pot observar una gran reducció en els cabals durant l'hivern dels anys més secs (1980-1986). Efectes hidrològics similars es presenten en la regulació d'altres rius.

El patró de la descàrrega diària queda també afectat per l'efecte de la regulació (fig. 8). El nivell de l'aigua pot variar molt en poques hores i el cabal augmentar diversos ordres de magnitud. Els màxims s'assoleixen en les primeres hores de la nit i a la matinada, hores que corresponen a la necessitat d'una major despesa hidroelèctrica, els mínims es distribueixen al llarg de les hores amb llum natural.

AFORAMENT DEL RIU EBRE A TORTOSA

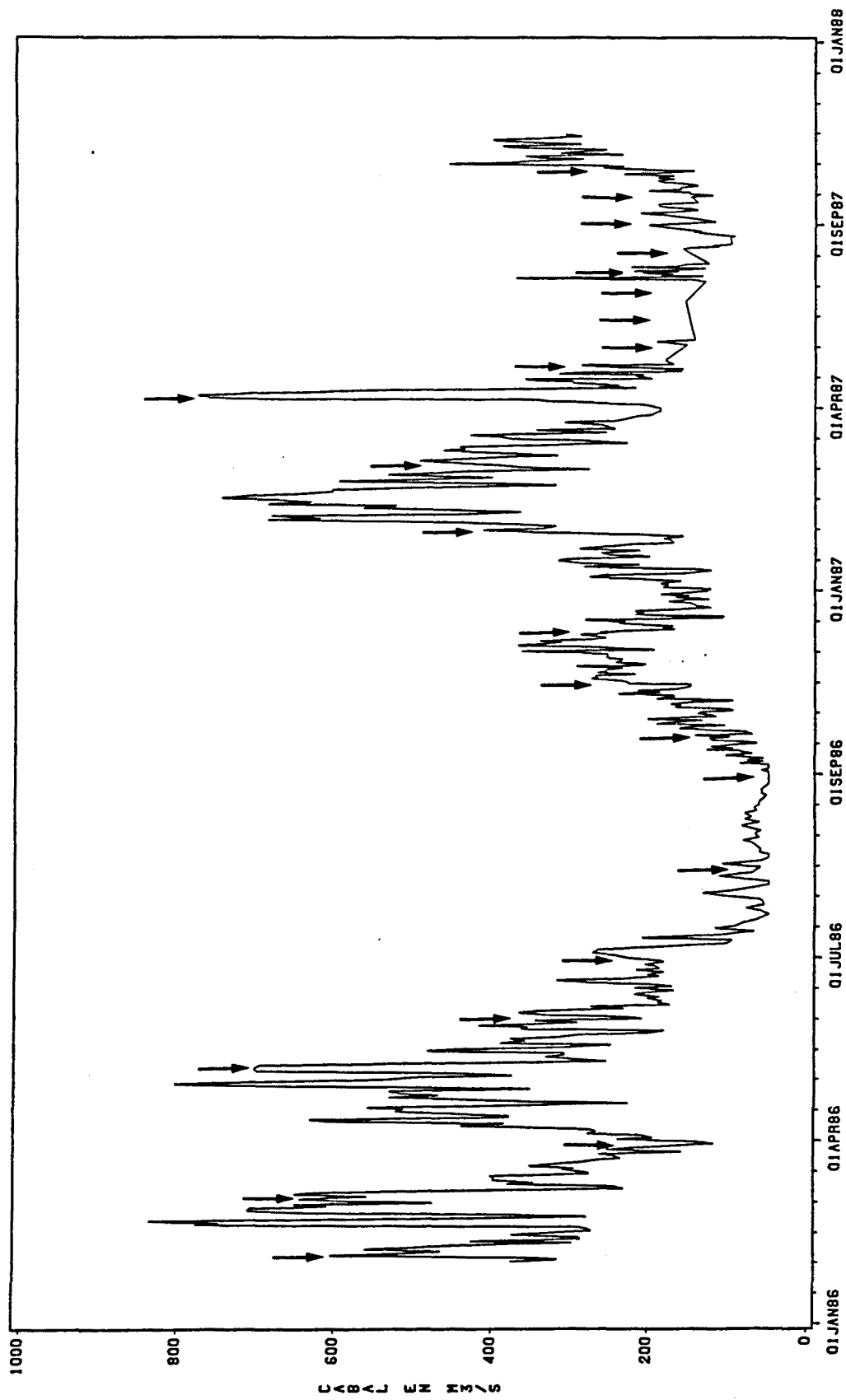


Fig. 5 : Aforament diari del riu Ebre a Tortosa. Les fletxes senyalen el moment del mostreig.

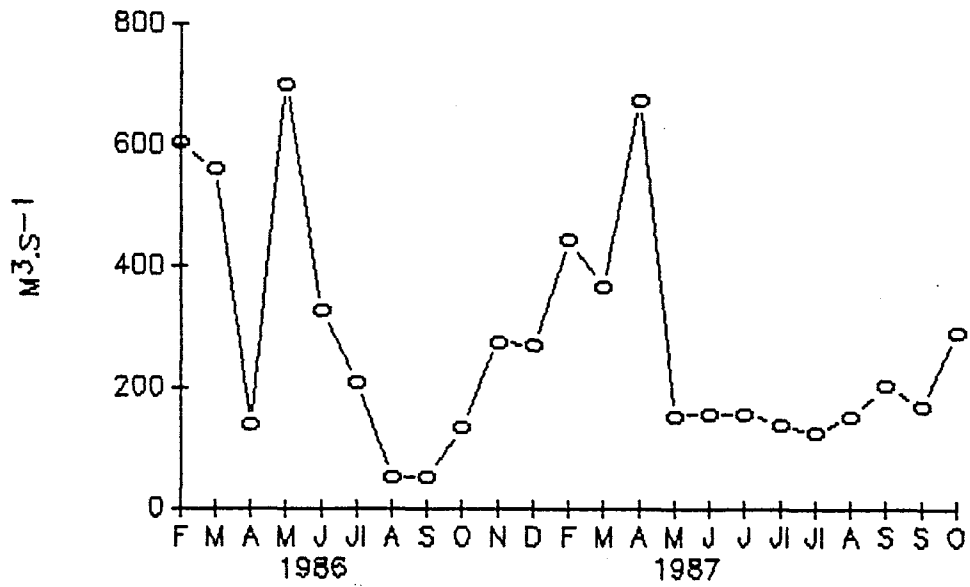


Fig. 6 : Hidrograma a Tortosa en els dies de mostreig.

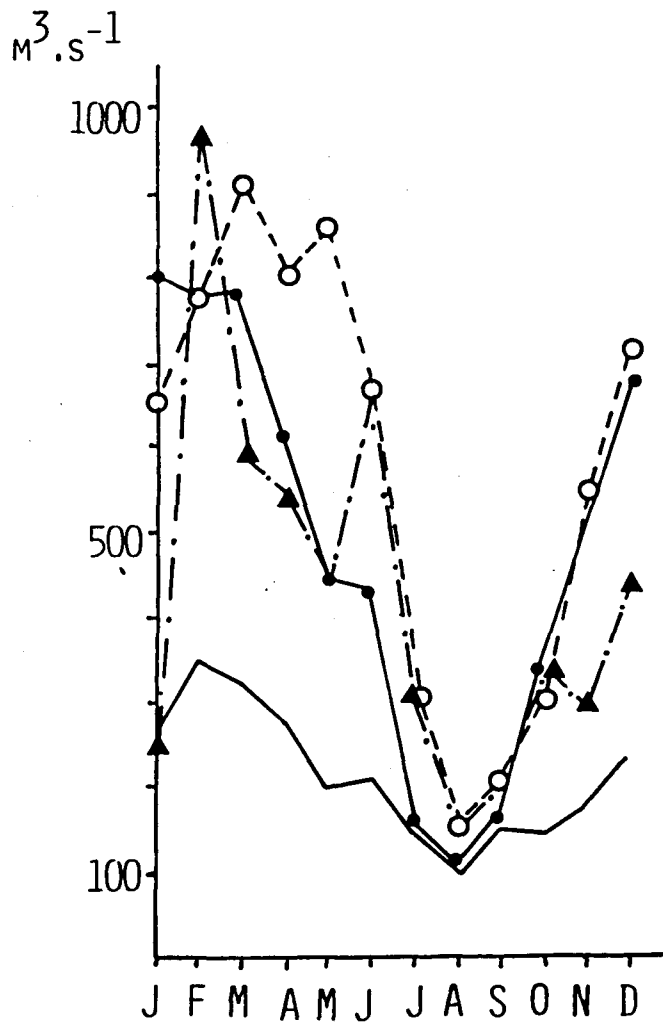


Fig. 7 : Cabal mig mensual a Tortosa per diferents períodes: (-O-O-) 1912-1935 (abans de la construcció dels embassaments). (●-●-) 1951-1965. (-▲-▲-) 1972-1980. (—) 1980-1987.

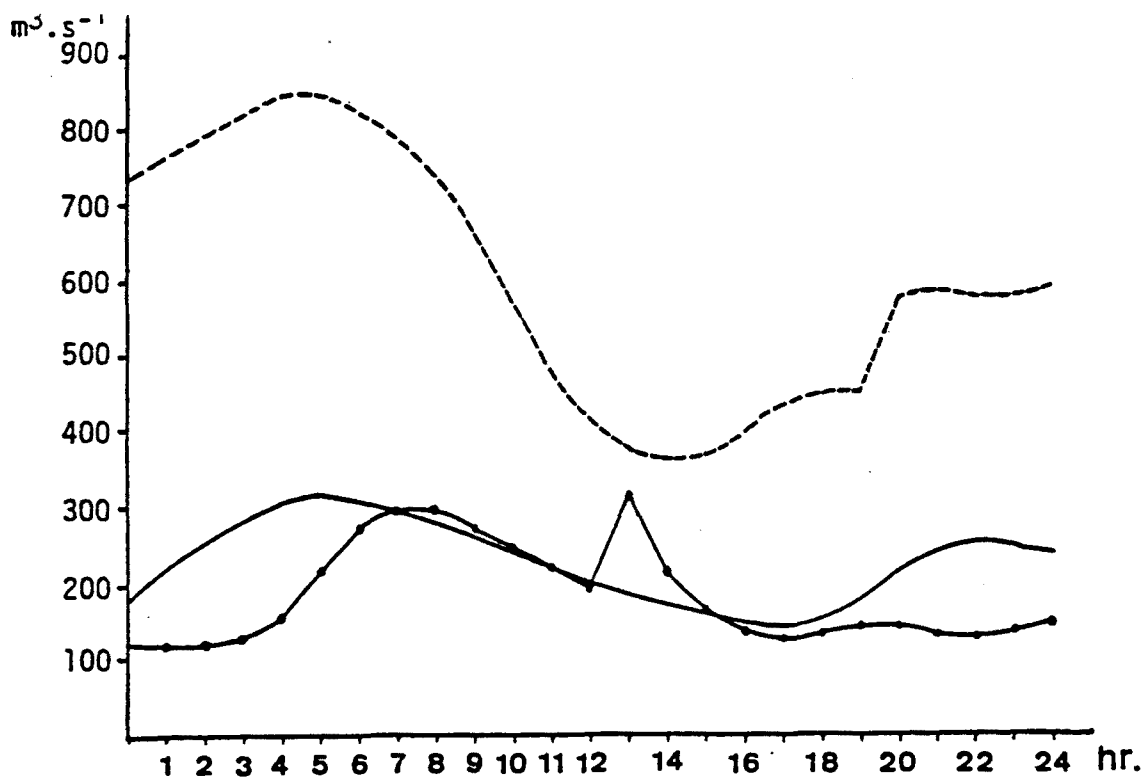


Fig. 8 : Fluctuacions diàries del cabal: (---) 4 de febrer de 1986. (●—●) 9 de setembre de 1986. (—) 28 de juliol de 1987.

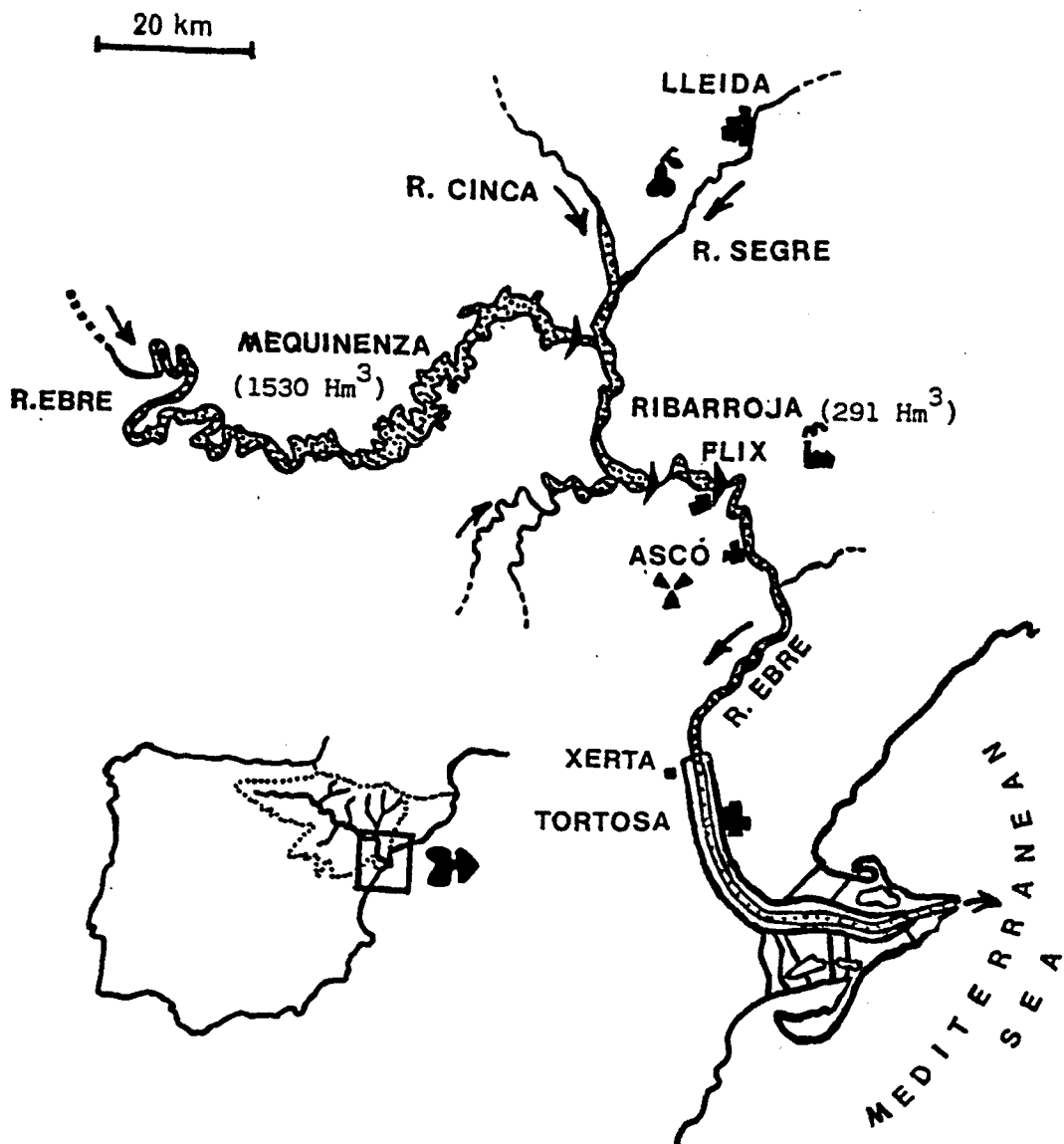


Fig. 9 : Localització dels embassaments que regulen la part baixa del riu Ebre.

1.4. LA UTILITZACIÓ DE L'AIGUA COM A RECURS

Els recursos de l'aigua s'entenen com el balanç entre l'aigua que es pot obtenir del riu i dels aqüífers, i l'aigua que es consumeix segons les necessitats agrícoles, industrials i urbanes. L'Ebre a hores d'ara, és un riu molt aprofitat tant hidroelèctricament com per a ús agrícola al llarg de tota la seva conca. Aproximadament uns 61 embassaments d'alçada superior als 15 metres (CHE., 1976) es distribueixen al llarg de tot el riu i els seus afluents. A la zona d'estudi són tres els embassaments que regulen els darrers 100 km. de riu fins a la desembocadura, Mequinensa, Riba-roja i Flix (fig. 9). Els tres estan destinats a la producció d'energia hidroelèctrica i la seva capacitat de regulació és diferent en cada cas.

L'embassament de Mequinensa amb una capacitat de 1530 hm³ (MOP, 1973) és un dels més importants de la conca i el que té més influència sobre el règim hidrològic de la part estudiada. Construït al 1966 produeix una potència de 814000 kw l'any. Seguint l'embassament de Mequinensa (fig. 9) tenim el de Riba-roja amb 291 hm³ de capacitat i amb una producció elèctrica anual de 862000 kw (MOP, 1973). Les aigües regulades per aquests dos embassaments passen encara per un tercer, el de Flix, amb 11.7 hm³ de capacitat i una producció elèctrica de 42500 kw (MOP, 1973). Construïda des de 1947, la capacitat de regulació d'aquest embassament és mínima i el temps de residència de l'aigua és molt curt. El sistema dels tres embassaments va constituir la xarxa d'aprofitament hidroelèctric del baix Ebre, complementari a les de la conca del Noguera Ribagorçana; a més de garantir la refrigeració de la central nuclear d'Ascó i la derivació d'aigües per al reg des de Xerta als regadius del sud de la província de Tarragona. La regulació de l'aigua d'aquest sistema d'embassaments determina completament el comportament del riu aigües avall.

La part baixa del riu Ebre no està excessivament poblada si la comparem amb altres zones de la conca, tot i així no deixa de tenir nuclis urbans importants com Tortosa (31445 h.), Amposta (14449 h.), Deltebre (9728 h.), St. Jaume d'Enveja (3370 h.), en total uns 151702 h. (GRAU i SORRIBES, 1982; 1985) que utilitzen l'aigua del riu per a ús agrícola, urbà i industrial.

Al llarg de totes les terres riberenques de la part baixa del riu l'agricultura és el sector capdavanter. Les explotacions agrícoles més característiques són fruiters com la mandarina i la taronja, l'olivera, les hortalisses, i baixant cap al delta l'arròs. En els darrers anys, però, grans extensions de camps d'arròs s'han transformat en camps de

conreu hortícola (carxofes, enciam, melons, etc.) com a alternativa al monocultiu de l'arròs.

L'aigua del riu a l'alçada de Xerta (63 km de la desembocadura) és derivada en dos canals principals, anomenats canal de la dreta i canal de l'esquerra, segons la situació respecte al riu. La seva construcció va ser impulsada per Carles III en el segle XIX (SERE i MAYMO, 1972). El canal de la dreta, començat el 1857 i acabat el 1886, té 29 km de llargada. El canal de l'esquerra va ser inaugurat el 1912 i té una longitud de 27 km. Cada canal porta un cabal constant aproximat de $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i un cop arriben al delta es divideixen en una xarxa de canals més petits que distribueixen l'aigua a tots els camps (fig. 10) i desemboquen més tard a les badies, de nou al riu o directament al mar. El canal de l'esquerra rega 11525 ha al llarg del marge esquerre del delta, i el de la dreta, 12096 ha de les terres de la part dreta. Els canals de reg no són oberts tot l'any, el seu funcionament correspon al del cultiu de l'arròs des d'abril-maig a novembre-desembre. Tot i així es pretén que en anys successius, i després de fer obres d'arrebosament, els canals siguin oberts tot l'any per satisfer les necessitats d'altres cultius diferents de l'arròs. Això ja passa en el cas del canal de l'esquerra que durant tot l'any 1987 va dur aigua.

Quant al sector industrial, les principals indústries estan vinculades a l'agricultura i alimentació seguides pel sector de la construcció, metal·lúrgia i paperera, el sector tèxtil també és present però en menys importància. L'activitat industrial del baix Ebre es centralitza en els dos municipis més poblats: Tortosa (28 % de tota la indústria de la zona) i Amposta (18 %) (GRAU i SORRIBES, 1982; 1985).

Es pot avaluar la demanda d'aigua actual a la conca de l'Ebre català de la forma següent (GEN. CATALUNYA, 1987):

Demanda urbana	13 hm ³ /any
Demanda industrial	1 hm ³ /any
Demanda agrícola	1428 hm ³ /any
Demanda central nuclear d'Ascó	40 hm ³ /any
Demanda per altres comarques	1.2 hm ³ /any

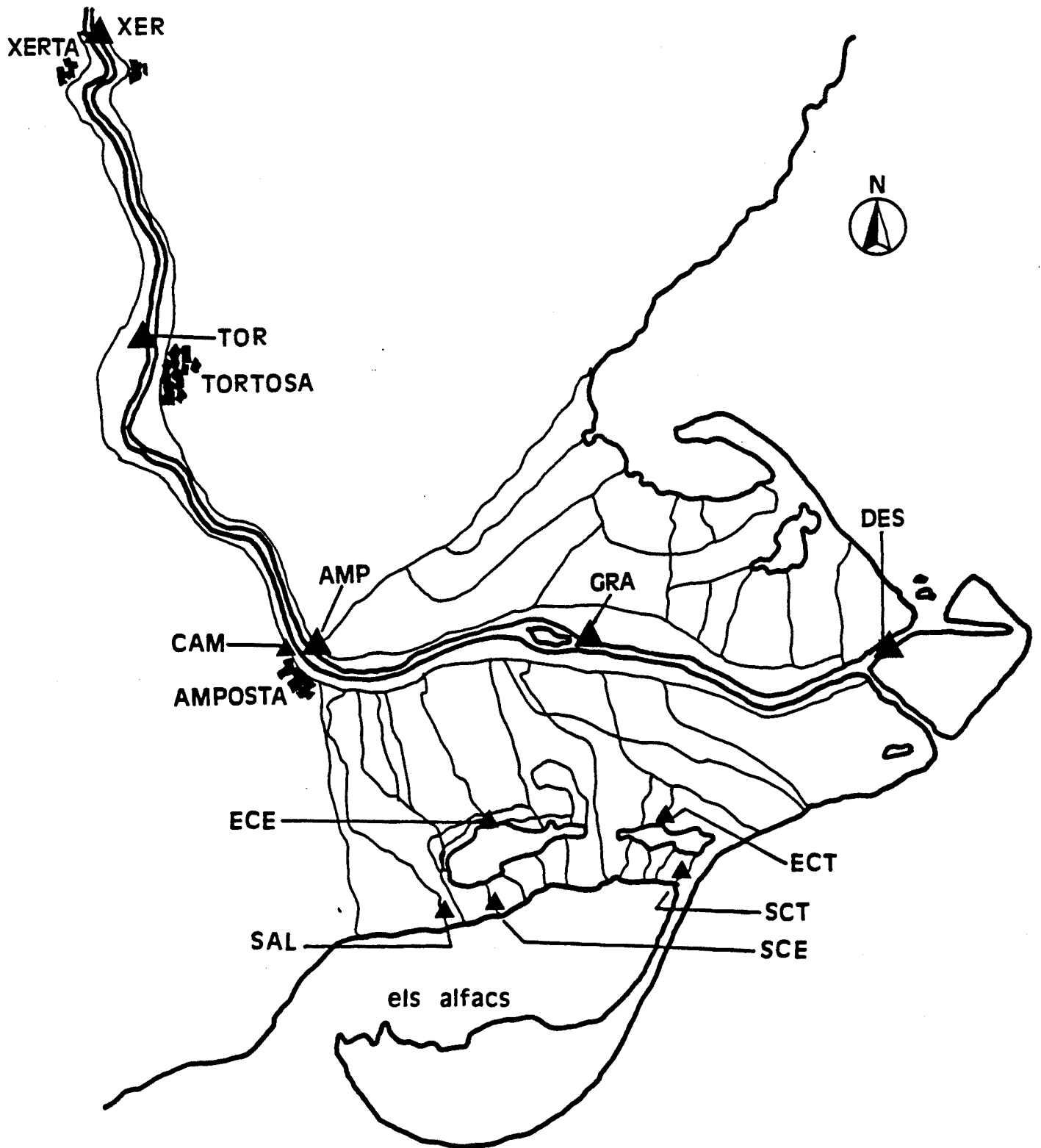


Fig. 10 : Mapa detallat dels canals de reg. Localització de les estacions de mostreig.

1.5. CARACTERÍSTIQUES GENERALS DE LA ZONA D'ESTUDI

1.5.1. CARACTERÍSTIQUES FÍSIQUES

1.5.1.1. Riu

Si observem el perfil del riu des de l'assut de Xerta fins a la desembocadura, es veu que aquest és força particular amb canvis molt importants de fondària.

Segons VERDAGUER et al. (1985), en el curs inferior del riu Ebre es poden definir, d'acord amb la morfologia i el tipus de sediments, quatre ambients diferents (fig. 11):

- Domini totalment fluvial, que es desenvolupa fins a 11 km per sota de Tortosa amb sediments del tipus grava i lutites. La profunditat mitjana és de 3 m i hi predominen els processos d'erosió i transport. A partir d'aquesta zona el riu ja té una influència important de la plana deltaica.

- Domini fluvio-deltaic, que va des d'Amposta a La Cava. El límit superior coincideix amb el de la plana deltaica. Té sediments dominats per la fracció de lutites i sorres i hi abunden els dipòsits procedents de la fauna marina i restes vegetals.

- Domini fluvio-marí, s'estén des de La Cava fins a l'illa de Buda, en total aproximadament 12 km. Els dipòsits tenen una constitució semblant a la zona anterior i el seu límit superior coincideix amb la presència de la falca salina de forma permanent durant l'estiatge.

- Domini de la desembocadura, a partir de 5 Km a partir de l'illa de Buda fins al mar. Els dipòsits estan constituïts per sorres i fang de diferents orígens. La profunditat torna a ser de pocs metres per efecte dels bancs de sorra que es formen quan entren en contacte les aigües del riu i el mar.

Cal destacar la presència de pous (anomenats "peixeres") al llarg de tot el perfil, que poden arribar a tenir gran profunditat (15 m), i en molt casos són brolladors d'aigua dolça.

La velocitat de corrent és també diferent al llarg de l'eix longitudinal. Mesures fetes a Xerta i Tortosa ens donen una velocitat mitjana de $0.97 \pm 0.28 \text{ m.s}^{-1}$ amb variacions segons el cabal que porta el riu. Dades de la GEN. CAT. (1985) donen també una velocitat de $0.93 \pm 0.20 \text{ m.s}^{-1}$ a la zona de Tortosa. Mentre que a la part més baixa

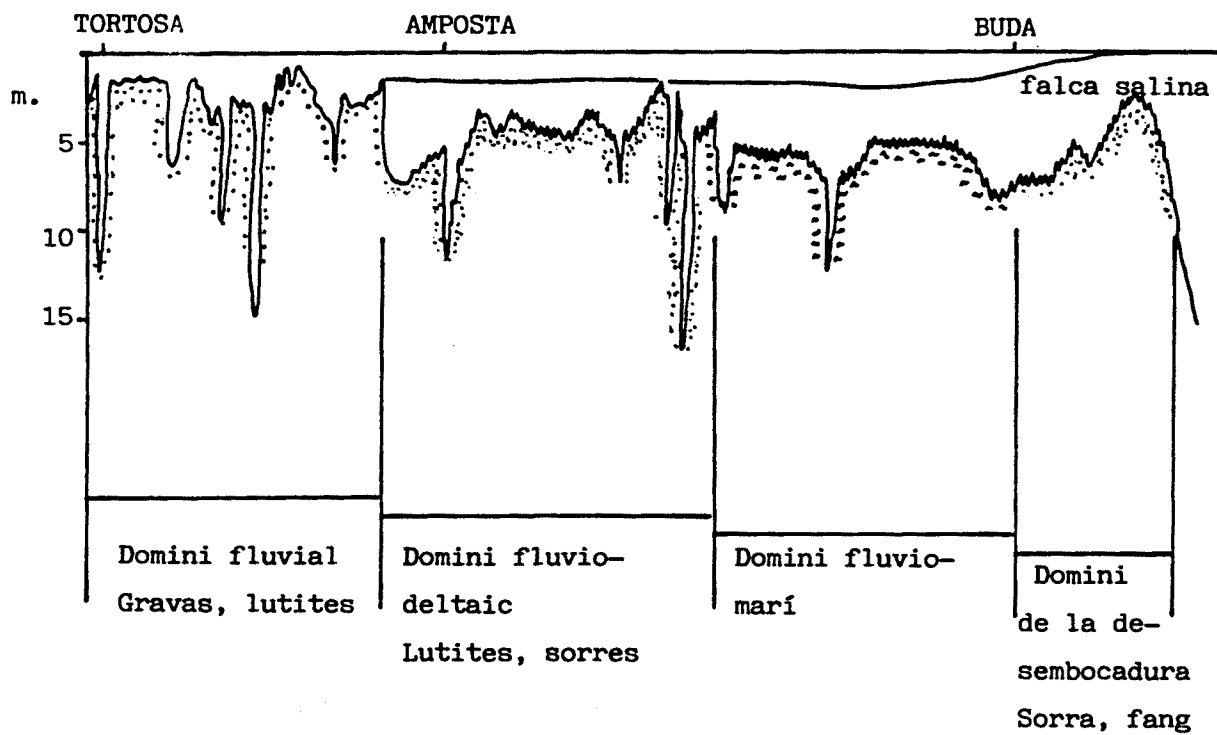


Fig. 11 : Esquema morfo-sedimentològic del curs inferior de l'Ebre.
Font: VERDAGUER et al. (1985).

trobem, a Amposta, una velocitat de $0.21 \pm 0.07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i de $0.25 \pm 0.07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a la desembocadura.

Amb aquestes observacions podem separar la part baixa del riu Ebre de forma més general en dues parts, una que anomenarem compartiment reòfil, d'uns 20 Km d'extensió des de Xerta fins a uns 11 Km per sota de Tortosa, amb amplades de 100 m i fondàries mitjanes d'uns 3 m. El substrat del riu està format per còdols, pedres i en molts casos sorres. Amb una velocitat de corrent pròxima a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ que origina un transport ràpid dels materials riu avall.

La segona part seria el compartiment estuarí, d'uns 30 Km on es comença a fer present el domini deltaic i la influència marina. Presenta amplades més grans de 150-200 m, fondàries superiors als 4 m i un fons de sorra i fang. El corrent es fa més lent i el transport vertical és important.

Amb un programa metodològic adequat podrem veure si aquestes diferències morfològiques es corresponen amb altres a nivell químic o biològic.

1.5.1.2. Canals

Els dos canals principals (canal de la dreta i canal de l'esquerra de l'Ebre), tenen l'origen al riu Ebre uns 60 km amunt de la desembocadura, prop de la població de Xerta; van paral·lels al riu fins prop del mar, tornant a desembocar el restes d'aigua al riu. D'aquests canals en surten altres de secundaris que alhora van dividint-se fins arribar a cada un dels camps que han de regar. Des dels camps en surten d'altres que porten l'aigua fins a les llacunes o al mar, aquests són els canals de desguàs. Aquest és el model general, però cada canal té el seu funcionament segons les necessitats d'aigua que requereix el camp que alimenta. Hi ha canals que després de passar pels camps d'arròs porten l'aigua directament a les badies mentre que d'altres desemboquen prèviament en una llacuna costanera i d'aquesta surt un canal diferent que porta, i ara sí, l'aigua a la badia (fig. 10).

1.6. ESTACIONS D'ESTUDI

L'elecció dels punts de mostreig es realitzà al camp després de tenir en compte totes les característiques físiques observades per tal que ens fossin d'utilitat a l'hora d'interpretar els resultats d'acord amb els objectius del treball. En el riu van ser

escollides cinc estacions per tal de copsar l'evolució dels paràmetres al llarg del seu curs fins al mar. Les estacions de XER i TOR eren situades al compartiment reòfil del riu i les altres, al compartiment estuari (fig. 10).

En els canals es van distribuir les estacions de mostreig al llarg de tota la xarxa que travessa només la part dreta del delta (fig. 10). Cada canal mostrejat tenia unes característiques particulars que ens ajudarien després a veure les diferències en el procés de transformació dels nutrients de l'aigua. La numeració de totes les estacions és la mateixa que la del programa general del delta de l'Ebre.

1.6.1. RIU

- Estació núm. 26. Assut a Xerta (XER). Situada sota l'assut que serveix per diversificar l'aigua cap els canals principals de reg, a 2 km amunt de la població de Tivenys a la part esquerra i de Xerta a la part dreta. La velocitat mitjana de corrent era de 0.72 ± 0.07 m/s.

La fondària varia entre 2 m en les èpoques de màxim cabal i 0.5 m a l'estiu quan s'arriba als mínims. L'amplada és d'uns 100 m i el llit del riu és molt diversificat amb pedres de diferent tamany i força vegetació macrofítica. Durant l'estiu creix una vegetació important a les riberes del riu que formen, fins i tot, petites illes al mig del riu. Aquesta diversificació d'ambients amb zones lentiques alternades amb lòtiques afavoreixen el desenvolupament d'una important fauna i flora bentònica.

-Estació núm. 25. Tortosa (TOR). Situada per sobre de la ciutat de Tortosa, a la zona anomenada La Xiquina. Al mig del riu es desenvolupa una illa (illa de Vinallop) que és estable tot l'any. La fondària varia entre 3 m, quan el cabal és màxim, a 1.5 m a l'estiu. La velocitat de l'aigua era de 0.97 ± 0.28 m/s (mitjana per l'època d'estudi). El llit del riu està format principalment per sorra (fig. 12a). Aquesta estació es va començar a mostrejar el juny de 1986.

-Estacions núm. 24, 23. Amposta (superfície, AMS; fons, AMF). Localitzada en el pont vell d'Amposta. La profunditat varia al llarg del perfil (fig. 12b) i assoleix cotes màximes de 8 m. En el punt de profunditat màxima s'agafaven les mostres d'aigua, una en superfície i altra al fons. La velocitat del corrent disminueix considerablement (0.21 ± 0.07 m.s⁻¹). El fons és format per sorres i fang. La fondària obligava a fer el mostreig en barca.

-Estacions núm. 22, 21. Desembocadura (sup., DES; fons, DEF). A prop de la desembocadura del riu. El perfil de l'estació es mostra a la figura 12c. La velocitat de corrent és de 0.25 ± 0.07 m.s⁻¹. La mostra s'agafava a la zona de 4-5 m de fondària, i es recollia aigua de superfície i de fons. El llit del riu és fang sorrenc i el mostreig també es

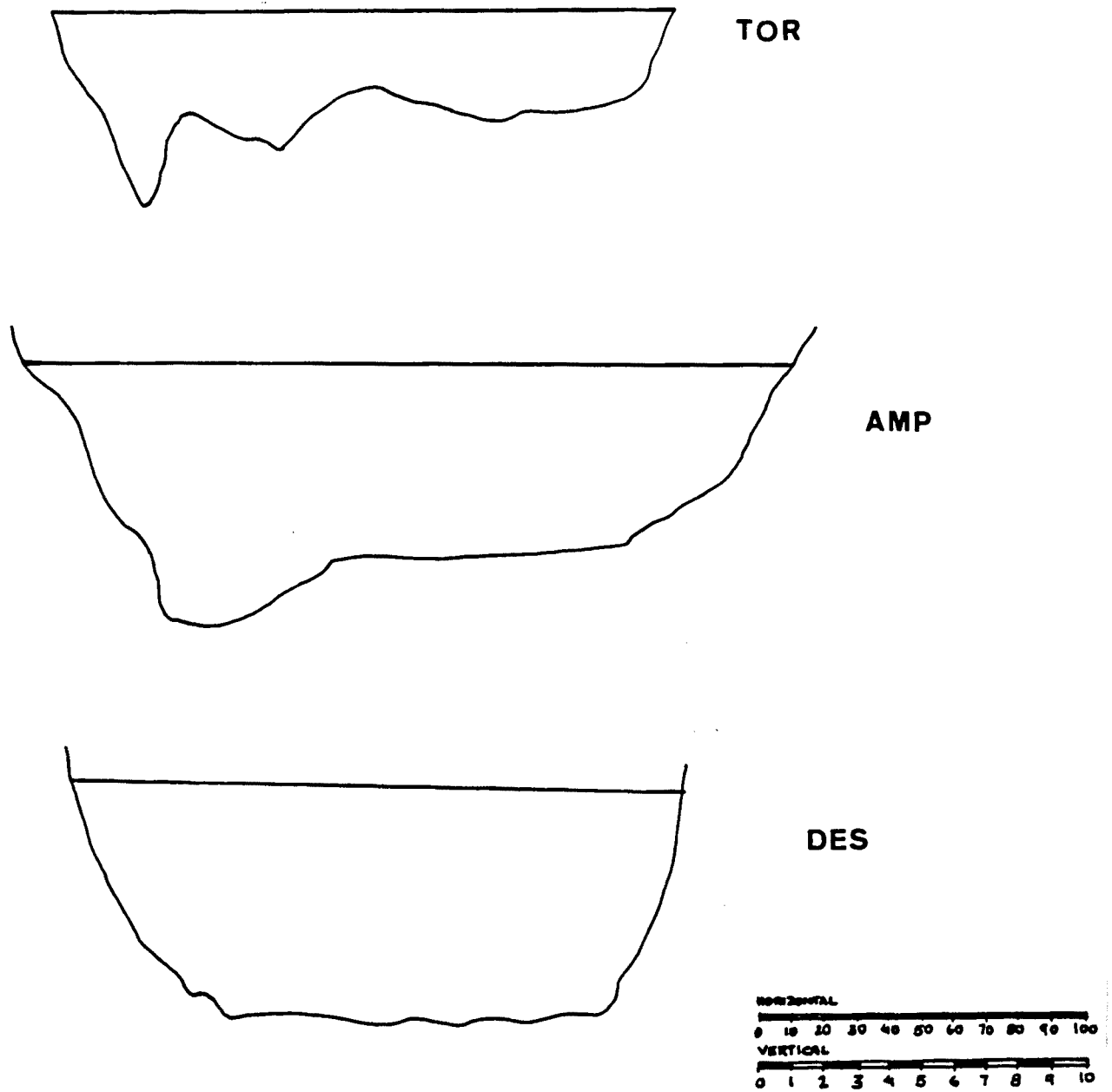


Fig. 12 : Perfil transversal de les estacions de Tortosa (TOR), Amposta (AMP) i la desembocadura (DES). Font: GEN. CATALUNYA (1985).

del riu és fang sorrenc i el mostreig també es feia en barca.

Les quatre estacions anteriors es van mostrejar durant tot el període i a cada campanya, addicionalment va ser mostrejada una altra estació en certes èpoques de l'any per complementar la informació:

-Estació de Gràcia (GRA). Localitzada aigües avall de l'illa de Gràcia (Fig. 10). Es va mostrejar des de juliol fins a octubre de 1987.

1.6.2. CANALS

-Estació núm. 20. Canal d'Amposta (CAM). Localitzada al canal de la dreta de l'Ebre a l'alçada de la població d'Amposta. En aquest punt el canal encara no ha sofert cap diversificació en canals secundaris. Amb un cabal de $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ amb petites variacions al llarg de tot el període que era obert (abril-octubre), la velocitat de corrent era de $0.87 \pm 0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ amb poques variacions durant tot el cicle.

-Estació núm. 19. Canal de la sèquia de l'Ala (SAL). Situat entre les dues llacunes de la Tancada i l'Encanyissada. Porta un cabal mitjà de 6 a $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ aproximadament durant el període d'abril a desembre i $1.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de desembre a març (dades de la Comunitat General de Regants del canal de la dreta de l'Ebre). Com es pot veure a la figura 10 l'aigua arriba directament a la badia sense passar per cap llacuna. La sortida d'aigua a la badia està regulada per diverses comportes que s'obren o es tanquen segons les necessitats, a més hi ha 3 sinfins per remontar l'aigua dolça a la badia si el nivell del mar és més alt.

El canal de la sèquia de l'Ala és un dels dos canals més importants quant a volum d'aigua que desemboca a la badia dels Alfacs, porta aproximadament el 40 % del total.

-Estació núm. 18. Canal d'entrada a l'Encanyissada (ECE). Des dels camps de conreu desguassa a la llacuna de l'Encanyissada.

-Estació núm. 15. Canal d'entrada de la Tancada (ECT). Desguassa a la llacuna de la Tancada.

Aquest canal i l'anterior desguassen en una llacuna abans d'arribar a la badia a diferència del canal de la sèquia de l'Ala.

-Estació núm. 16. Canal de sortida de l'Encanyissada (SCE). Porta l'aigua des de l'Encanyissada a la badia.

-Estació nº12. Canal de sortida de la Tancada (SCT). Desaigua des de la Tancada a la part més Est de la badía.

En els canals d'entrada i sortida de les llacunes no existeixen mesures de cabal oficials, a més les variacions són molt marcades d'un dia a l'altre o dintre del mateix dia segons les hores, d'acord amb les activitats del camp i en el cas dels canals de sortida també dels pescadors. Els canals de sortida estan en contacte directe amb l'aigua salada de la badía, petites diferències de nivell de la badía o de la llacuna poden canviar el sentit de la direcció de l'aigua. Hi ha vegades que funciona realment com un desguàs d'aigua dolça però d'altres l'aigua salada pot entrar a la llacuna.

1.7. HIPÒTESI DE TREBALL

Tant el riu com els canals de reg són sistemes dinàmics que transporten aigua del mateix origen amb matèria dissolta o en suspensió amb un flux unidireccional cap al mar en el cas del riu, i cap a les badies els canals. Tot i que en principi es transporta la mateixa aigua, les característiques que troben al llarg del recorregut són diferents en ambdós casos, si bé el riu segueix un curs natural des de les zones d'erosió a les de deposició aigües avall, els canals tenen un flux continu en favor de la pendent travessant en el seu recorregut diferents medis (camps d'arròs, llacunes), amb una certa producció pròpia, que modificaran les característiques inicials de l'aigua.

Si considerem el riu com un "canal" que desemboca directe al mar, els canals de reg seran "canals" que arriben al mar després de passar per diferents "compartiments". Es clar, doncs, que el comportament dels nutrients en solució o en forma particulada de l'aigua serà diferent si el trajecte és diferent.

Finalment, la caracterització que resulti d'aquest estudi podrà relacionar-se amb les diferents comunitats d'organismes que hi viuen, especialment les del riu.

1.7.1. OBJECTIUS

Com una part bàsica del treball ens hem plantejat un conjunt d'objectius amb els quals tindrem una anàlisi de com s'organitzen el riu i els canals a partir de les seves característiques físico-químiques. Per altra banda, desenvoluparem un grup d'objectius complementaris als anteriors que ens ajudaran a descriure les comunitats biològiques i les

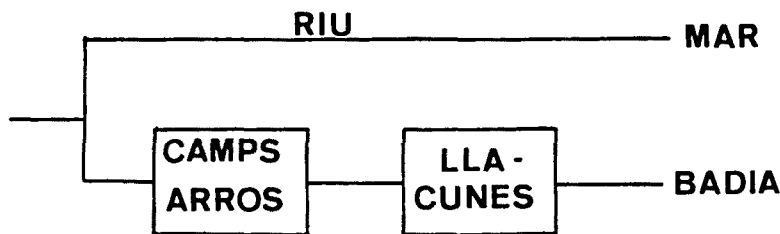
relacions que aquestes mantenen amb les característiques del medi.

Com a objectius principals:

+ Estudiar com serà la transformació dels nutrients (C, N, P) en forma dissolta i particulada d'un flux d'aigua que va per dues vies diferents :

-un "canal" directe al mar (riu).

-un "canal" que travessa diversos compartiments al llarg del seu trajecte i que finalment desemboca a les badies (canals de reg).



+ Estudiar el comportament del riu en les dues zones observades:

-La zona reòfila (poca profunditat, velocitat de corrent alta).

-La zona estuarina (profunditat important, velocitat de corrent baixa).

Com a objectius complementaris:

+ Descripció de la comunitat de fitoplàncton com a principal component del material en suspensió que porta el riu, i les interrelacions amb el medi.

+ Descripció de la comunitat de macroinvertebrats del bentos amb relació a les diferents característiques al llarg de la part baixa del riu.

1.8. METODOLOGIA

1.8.1. CALENDARI DE MOSTREIG

El conjunt del mostreig físico-químic i biològic es va repartir al llarg dels anys 1986 i 1987. Durant el primer any i part del segon fins al juny de 1987 es va mostrejar amb una periodicitat mensual les 4 estacions del riu i els canals. En el cas dels canals només es

van mostrejar durant el període que estaven oberts per al reg dels camps d'arròs (maig-novembre 1986). Durant el període de juny-octubre de 1987 es va ampliar el mostreig només per al cas del riu, recollint mostres quinzenalment.

Paral·lelament es va mostrejar de forma més intensiva durant els dies 6 i 7 de febrer de 1986 a l'estació d'Amposta recollint mostres cada 4-6 hores; i els dies 29 i 30 de juliol de 1987 a l'estació de Tortosa amb una freqüència horària. També es va realitzar un estudi intensiu en l'espai, és a dir, en una part concreta del riu, la part estuarina, es van agafar mostres al llarg del riu i a fondàries diferents per tal de determinar més clarament les condicions d'estiatge del riu.

El mostreig del fitoplàncton es va realitzar des de l'octubre de 1986 a l'octubre de 1987 amb mostres recollides mensualment. L'estudi de la població de macroinvertebrats bentònics només es va fer durant els mesos de maig fins octubre, la resta de l'any el cabal del riu no permetia el mostreig.

1.8.2. PROTOCOL DEL MOSTREIG

1.8.2.1. Mostreig físico-químic

A cada estació van ser mesurats un total de 26 paràmetres (fig.13). Al lloc del punt de mostreig es va mesurar la temperatura mitjançant un termistor incorporat a l'aparell del conductímetre. També fou mesurat el pH de l'aigua amb un pH-metre marca "Orion 231" amb compensador de temperatura incorporat. La conductivitat fou mesurada amb un conductímetre marca "Instran 10" que llegia directament en $\mu\text{S}/\text{cm}$ o mS/cm . La conductivitat era directament corregida a temperatura de 25 °C.

A cada estació es recollia aigua de superfície (4-5 l) amb un bidó netejat prèviament, i a les estacions del riu del compartiment estuari (estacions núm. 3 i 4) es recollia també aigua a diferents fondàries amb una ampolla oceanogràfica tipus Niskin. D'aquesta mostra es treien aliquotes per mesurar al laboratori els altres paràmetres. A la taula I es detallen les principals referències bibliogràfiques que han estat emprades per a cada tècnica analítica, i també els principals aparells i la metodologia utilitzada.

A cada estació es recollia també el material en suspensió de diverses fraccions després de mantenir contra corrent dues xarxes en la superfície de l'aigua, una de malla de porus de $50\mu\text{m}$ per tal de recollir el material en suspensió fi (de $50\mu\text{m}$ a 1 mm.), i altre de porus d'1 mm pel material groller (més gran d'1 mm). Per tal de saber el volum d'aigua que travessava la xarxa es mesurava la velocitat de corrent de l'aigua amb un mesurador de flux i el temps d'exposició. Aquest temps oscil·lava segons l'estació i l'època de mostreig. En el cas de la xarxa de $50\mu\text{m}$ era entre 5 i 10 min i en el cas de la

PARAMETRES	FIXACIO	METODE D'ANALISI	APARELL DE MESURA	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA
Oxigen	MnSO ₄ ·H ₂ O	Winkler: Fixació quantitativa de l'oxigen per reacció amb el Mn en medi alcalí. Després la mostra és acidificada i el Mn oxidat i l'afegit al principi en proporció a la concentració d'oxigen existent. El Mn oxidat es quantifica per titració amb tiosulfat.		GRASSHOFF et al., 1983
ALCALINITAT	-4°C	Titració potenciomètrica: Càlcul del punt d'inflexió per els HCO ₃ -afegint HCl.	672 Titroprocessor METROHM	GMAN, 1952
NITRITS	Congelació	Colorimètric. Reacció amb Sulfanilida i N-(1-Naftil)etilendiamina. Detecció mínima 0.1 µm. Lectura a 550 nm.	Technicon Autoanalyzer II	STRICKLAND & PARSONS, 1972
NITRATS		Colorimètric. Lectura a 550 nm. Es redueix a nitrats a través d'una columna reductora de Cadmi. Es segueix el mateix procediment que per nitrats.		
AMONI		Colorimètric. Lectura a 660 nm. Mètode de l'indofenol-blau, adaptat i modificat per l'autoanaltitzador Technicon.		KOROLEFF, 1970
ORTOFOSFAT		Colorimètric. Lectura a 880 nm. Mètode de l'àcid ascòrbic, adaptat a l'autoanaltitzador Technicon.		MURPHY & MILLET, 1962
CARBONI ORGANIC DISSOLT		Titració de la mostra per filtre WHATMAN GF/F. Oxidació del C a CO ₂ raig UV. Quantificació per IR.	Analtitzador TOC. OICT 700.	GRASSHOFF et al., 1983
MATERIAL EN SUSPENSIO MATERIA ORGANICA	Filtre	Filtració d'un volum conegut d'aigua en un filtre de fibra de vidre WHATMAN GF/F (0.4 µm), pesat prèviament. El filtre es va secar fins a pes constant a 80 °C per obtenir el pes sec. Després el filtre es calcinava durant 4h a 450 °C. La diferència entre el pes de les cendres i el pes sec era la matèria orgànica o el pes sec lliure de cendres.	Batufa. Mofla. Balança de precisió	
CARBONI NITROGEN Particulat	Filtre Congelat	Contingut de C i N particulat retingut en filtre de vidre (WHATMAN GF/F). Oxidació per combustió emprant pentòxid de vanadi com a catalitzador. Els gasos són mesurats per conductivitat tèrmica.	Analtitzador elemental Carlo-Erba NA 1500	
FOSFOR Particulat		Contingut de P retingut en filtre de fibra de vidre (WHATMAN GF/F). Pre-digestió amb persulfat potàssic en medi àcid en autoclaus. Després el procediment seguit amb l'ortofosfat.	Autocla. Technicon Analyzer II	GRASSHOFF et al., 1983
N, C particulat fi i grolier (>50 µm)	Formol 4%	Després d'una trituració i homogeneïtzació de la mostra es segueix el mateix procediment que amb el C i N particulat.	Analtitzador elemental Carlo-Erba NA 1500	
P particulat fi i grolier		Homogeneïtzació de la mostra i predigestió amb una barreja d'àcid nítric i perclòric a altes temperatures (130-200 °C). Després lectura a l'espectofotòmetre segons el mètode de l'àcid ascòrbic. Lectura a 880 nm.	Espectofotòmetre doble feix PERKIN ELMER 124	SOMERS & WELSON, 1972
CLOROFIL·LA	Filtre Congelat	Colorimètric. Contingut de clorofil·la total retingut en un filtre de fibra de vidre (WHATMAN GF/F). Extracció amb acetona al 80% i lectura a 664, 647, 630 i 430 nm.		JEFFREY & HUMPHREY, 1975

Taula I : Relació de les tècniques d'anàlisi utilitzades.

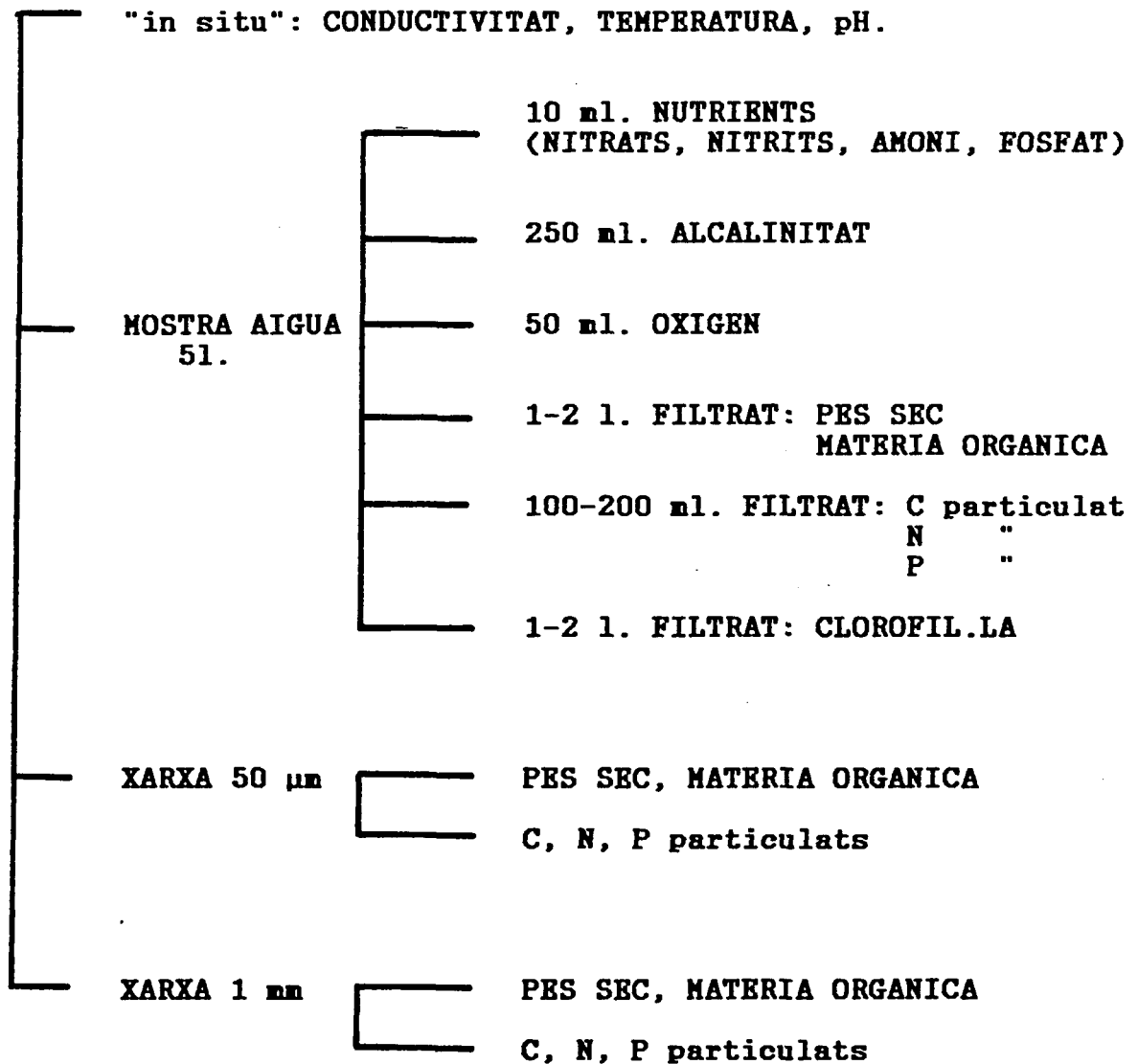


Fig. 13 : Esquema del protocol experimental.

xarxa d'1 mm de 15 min a una hora. En les estacions que eren mostrejades amb barca (est. núm. 3 i 4), les xarxes eren arrossegades amb la barca per tal de mostrejar una zona més representativa i per reduir el temps de mostreig ja que el material en suspensió, principalment groller (>1 mm), era poc important.

Durant les tres primeres campanyes es van recollir tres rèpliques de cada mostra per tal de determinar els marges de variació o el possible error metodològic. Després de veure que les diferències entre rèpliques no eren significatives no es van tornar a recollir en els mostreigs posteriors.

1.8.2.2. Mostreig biològic

Es va fer únicament al riu. Per una banda, l'estudi d'un cicle anual de la comunitat de fitoplàncton, per l'altra l'estudi de la fauna del bentos del riu. Per al primer es recollia aigua de superfície en una ampolla de 125 ml, es fixava amb lugol i al laboratori es feia la identificació i el comptatge de cèl.lules amb un microscopi invertit.

L'estudi de la població bentònica es va realitzar principalment a la part reòfila del riu (est. núm. 1 i 2), seguint diferents mètodes de mostreig segons el tipus de substrat. A la part estuarina només es va realitzar un estudi de colonització de substrats artificials durant 4 mesos (juny-setembre de 1986).

En ambdós estudis la metodologia està extensament explicada en els capítols posteriors corresponents.

2. EL MEDI

2.1. CANVIS EN EL TEMPS AL LLARG DE DOS CICLES ANUALS DELS PRINCIPALS FACTORS FISICO-QUIMICS

2.1.1. TEMPERATURA

La temperatura de l'aigua al llarg de l'any en els rius està principalment determinada per l'altitud, l'agitació o estancament de l'aigua, la profunditat i l'exposició a l'escalfor del sol. Un altre factor a considerar és l'hora en què fou feta la determinació, encara que en els rius més cabalosos com és el nostre cas, les fluctuacions són menors que en aquells rius de poc cabal.

L'examen de la figura 14 permet posar en evidència al baix Ebre l'existència d'un cicle anual marcat, amb mínims els mesos de gener i febrer (7-8 °C) i màxims a l'estiu entre 24-29 °C. L'evolució de la temperatura de l'aigua segueix el mateix patró que la temperatura de l'aire, i així és pot trobar una relació lineal i estadísticament significativa entre ambdues variables ($r=0.914$, $p<0.0001$).

Només s'observen petites diferències a l'estació de Tortosa on les temperatures màximes d'estiu són superiors a les de les altres estacions, a causa segurament de la poca fondària que el riu té en aquesta estació i la major exposició a l'escalfor del sol. També hi ha diferències entre la temperatura de l'aigua de la superfície i la del fons a les estacions de la part estuarina del riu (estacions d'Amposta i la desembocadura). En el cas de l'estació d'Amposta, les diferències es localitzen al juny i juliol de 1987 mentre que a la desembocadura s'estenen gairebé a tot el període de primavera i estiu dels dos anys estudiats amb valors en general més alts a la superfície. En tots el casos, però, aquestes diferències no són superiors als dos graus.

Temperatura als canals de reg

Als canals de reg els valors de temperatura al llarg dels mesos estudiats (de maig a novembre de 1986), oscil·len entre els 22 i 25 °C de màxima a l'estiu i els 11-14 °C de mínima al mes de novembre. La temperatura dels canals a la sortida de les llacunes pot incrementar-se en 1 grau respecte a la temperatura de l'aigua que entra, especialment els

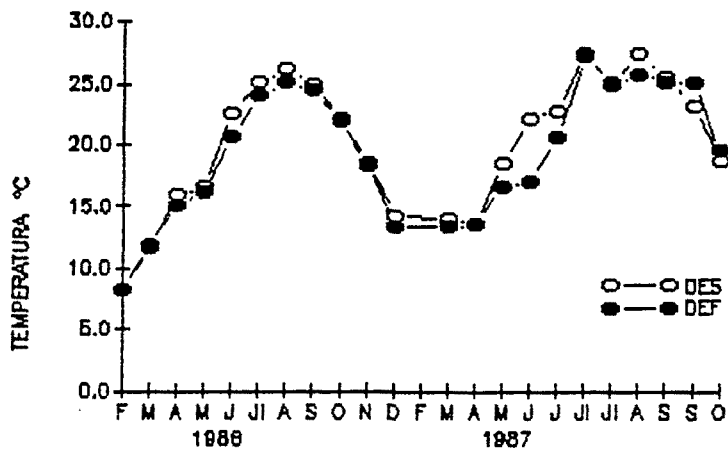
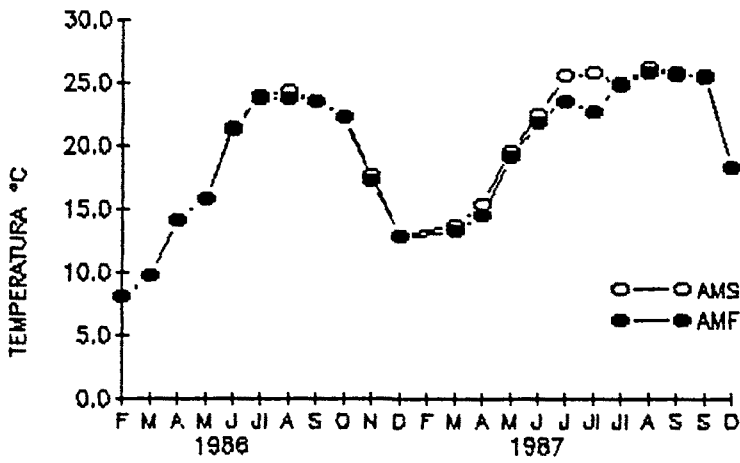
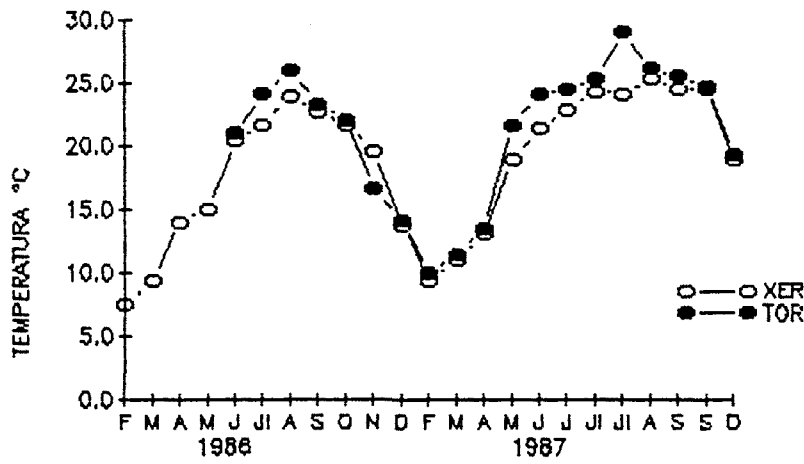


Fig. 14 : Evolució de la temperatura de l'aigua.

mesos més calurosos.

S'ha de tenir en compte que en el cas dels canals les diferències horàries entre la presa de les mostres poden ser importants ja que es tracta de canals poc fondos i amb cabals d'aigua reduïts.

2.1.2. CONDUCTIVITAT

La conductivitat és l'expressió numèrica de la capacitat d'una solució de portar una corrent elèctrica. Aquesta capacitat depèn de la presència, concentració total i relativa, mobilitat i valència dels ions, i de la temperatura a la que es fa la mesura.

La conductivitat augmenta aigües avall de forma natural per l'acumulació de sals procedents de l'erosió dels sòls i de la conca (MARGALEF, 1983). Segons MEYBECK (1979), l'erosió és el factor que més influència té en la composició química de l'aigua. La conca de l'Ebre es caracteritza per una elevada concentració de roques del tipus evaporites, que es distribueixen principalment a la part central de la conca. Aquest tipus de roques juntament amb d'altres també de tipus sedimentari (calcàries, margues, lutites, gressos...) presenten una vulnerabilitat a la dissolució molt forta (MEYBECK, 1979). Això fa que les aigües de la part baixa de l'Ebre es caracteritzin per una conductivitat relativament alta (al voltant d'1 mS.cm⁻¹) si la comparem amb altres rius com el Ter que presenta uns valors mitjans de 0.3 mS.cm⁻¹ (SABATER, F., 1987).

A la figura 15 es pot observar que a les estacions de Xerta i Tortosa (part reòfila del riu) els valors de conductivitat segueixen el mateix comportament variant poc i entre valors de 0.7 i 1.2 mS.cm⁻¹ al llarg de l'any.

Al compartiment estuari les variacions al llarg del període de mostreig són molt més marcades, amb valors en general més alts a l'estiu que a l'hivern i amb clares diferències superfície-fons. A l'estació d'Amposta en superfície es destaquen els mesos d'agost i setembre on la conductivitat pren valors de 2.4-3 mS.cm⁻¹, mentre que els valors durant la resta de l'any oscil·len al voltant d'1 mS.cm⁻¹.

Els canvis de conductivitat són més marcats a l'estació de la desembocadura, les aigües de la superfície tenen valors baixos d'1.2 mS.cm⁻¹ als mesos de febrer i març de 1986 i a l'abril de 1987, lligats a cabals importants. La resta de l'any s'arriba a màxims de 10 mS.cm⁻¹.

En fondària es destaquen dos pics a l'estació d'Amposta, un a l'agost i setembre de 1986, de 41.4 i 50.7 mS.cm⁻¹ respectivament, i el segon entre finals de juny i principis de juliol del 87 (31 i 34 mS.cm⁻¹). Aquests corresponen a moments d'estiatges acusats.

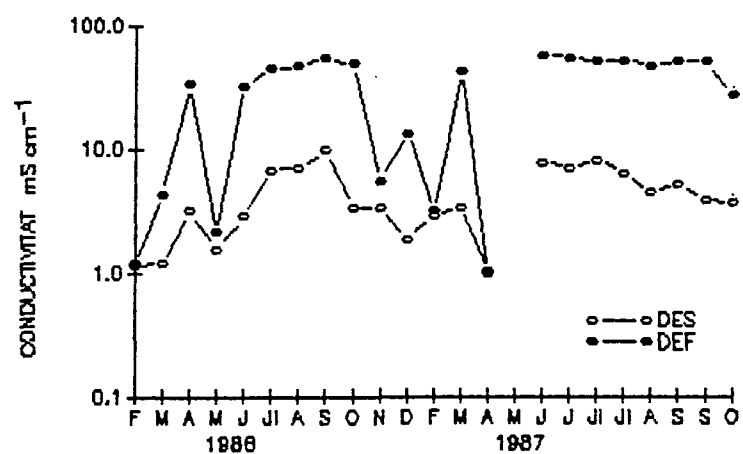
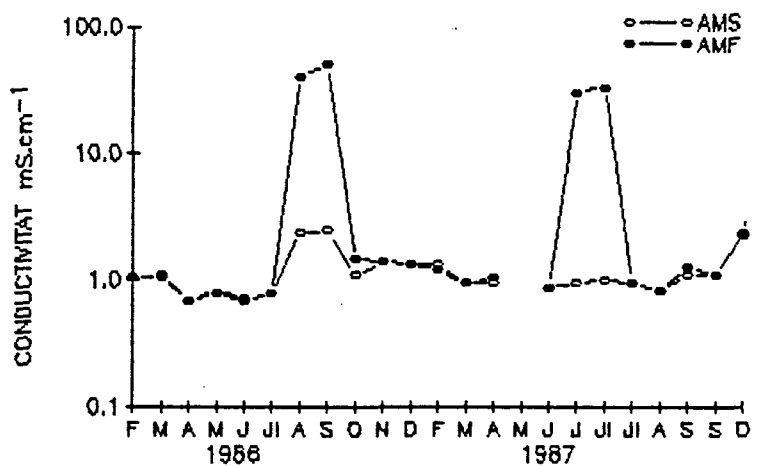
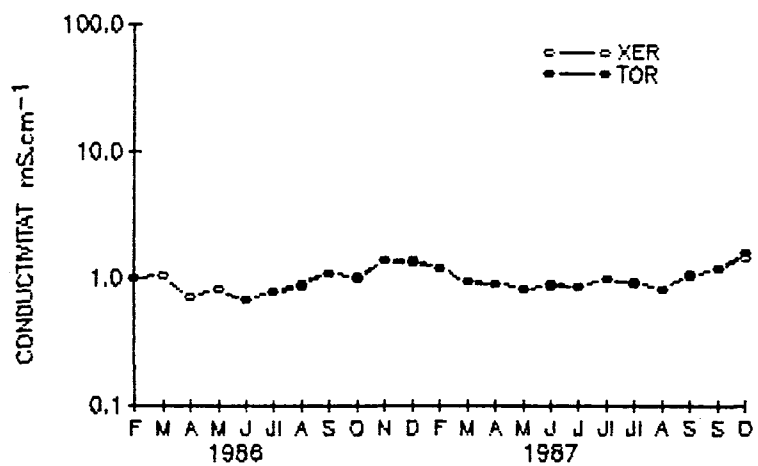


Fig. 15 : Evolució anual dels valors de conductivitat de l'aigua.

alts (40-55 mS.cm⁻¹) al llarg de pràcticament tot l'any i només baixa a valors típics de l'aigua del riu (al voltant d'1 mS.cm⁻¹) a l'hivern i quan hi ha màxims de cabal (maig, 1986; abril, 1987).

Amb totes les dades obtingudes a la part baixa de l'Ebre s'observa un rang de variació altíssim on els valors oscil·len entre l'1 mS.cm⁻¹ al compartiment reòfil i els 55 mS.cm⁻¹ al fons de l'estació de la desembocadura. Els valors mitjans anuals es presenten a la taula II. La mitjana a l'estació d'Amposta és sensiblement superior a les de les estacions d'aigües amunt, això és degut als valors puntuals d'elevada conductivitat que presenta (vegeu la desviació estàndard de la mitjana). L'estació de la desembocadura té també una mitjana superior a la resta del riu, especialment en el fons. Es caracteritza també per grans oscil·lacions al llarg de tot el període.

Un estudi estadístic que compara les mitjanes de cada paràmetre per a cada estació a partir d'una anàlisi de la variància, diferencia amb un coeficient de confiança del 99% les aigües del fons de la desembocadura de la resta de les estacions respecte a la conductivitat. Això ens indica que aquesta estació està majoritàriament determinada pel contacte amb l'aigua de mar.

Al llarg de tota la zona d'estudi no hi ha aportacions d'origen industrial o antropogènic importants ni tampoc afluent que puguin variar la composició iònica de les aigües. Els increments en la conductivitat només s'expliquen per la influència que l'aigua de mar té en aquesta part del riu.

Falca salina

Tot i que el Mediterrani no té marees, en certes condicions climàtiques o tipus de règim hidrològic del riu, la part final de l'Ebre (uns 25 km) pot passar a comportar-se com una mena d'estuari amb una entrada d'aigua de mar que des del mar va progressant pel canal del riu aigües amunt per sota de l'aigua dolça. Les condicions perquè es desenvolupi aquesta falca salina són essencialment dues, l'existència de cabals baixos en el riu o la persistència de vents forts de component E o SE.

En el primer cas, com que la superfície del mar i l'aigua del riu es troben pràcticament al mateix nivell en els darrers 25 km, una baixada en el cabal del riu permet que l'aigua de mar no trobi obstacle per endinsar-se pel canal del riu, de forma que s'estableix un corrent subfluvial des del mar cap al riu. A mesura que el cabal és més baix la resistència de les aigües del riu enfront de les marines és més petita, això es fa més important en els períodes d'estiatge. Si les circumstàncies són favorables el corrent d'aigua salada va avançant i pot arribar fins a uns 4.5 km per sobre de la ciutat d'Amposta a 25 km de la desembocadura on el propi perfil del riu crea un obstacle

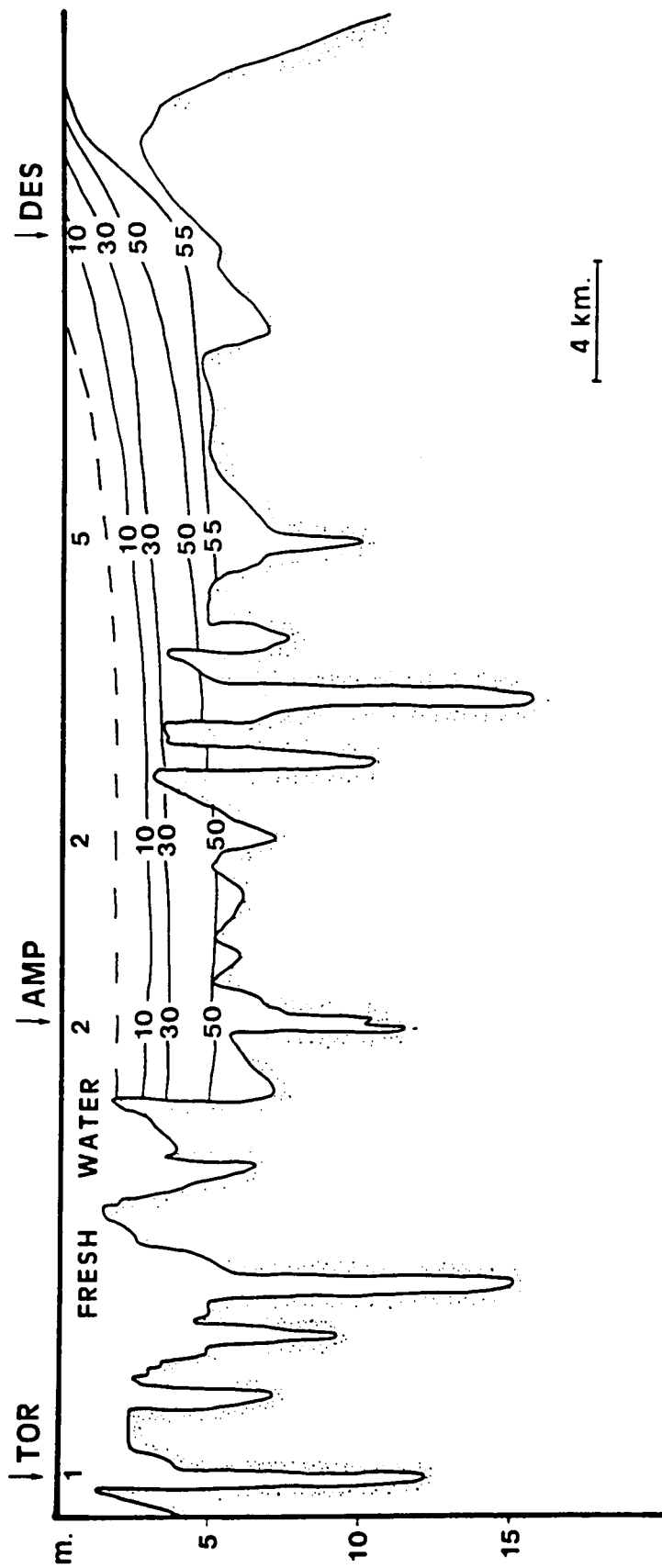


Fig. 16 : Perfil de conductivitat (mS.cm-1 a 25°C) en el riu durant l'estiu de 1986.

natural (VERDAGUER et al., 1985).

Una altra forma que es formi aquesta falca és la presència de forts vents de component E o SE. El delta de l'Ebre està orientat cap a l'est. Si aquests vents són intensos, l'aigua de mar és físicament arrossegada cap al canal del riu al mateix temps que l'aigua dolça és retinguda, encara que en aquest cas la falca no arriba a estendre's més d'uns pocs quilòmetres des de la desembocadura. El nivell del riu en aquests casos sol pujar uns centímetres. El canvi de nivell del mar per condicions climatològiques pot ser també important.

Quan la falca salina està ben establerta es poden diferenciar tres capes de conductivitat diferent (fig. 16): una de superficial amb conductivitats pròpies de l'aigua del riu, l'altra, la més fonda, amb conductivitats molt altes pròpies de l'aigua de mar, i finalment una capa intermèdia de transició entre les dues anteriors on es troben uns gradients importants en pocs metres. El gruix de cada capa és variable a cada punt del riu.

També és variable la localització de la falca al llarg del riu. Amb cabals extremadament baixos (menors de $100-150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) i persistents, la falca pot arribar uns 4-5 km per sobre de la ciutat d'Amposta (fig. 16). Aquest és el punt màxim que hem trobat en els nostres mostreigs (MUÑOZ i PRAT, 1989) i el determinat també per altres autors (SORRIBES i GRAU, 1985; VERDAGUER et al., 1985; IBAÑEZ i PRAT, 1989). Amb cabals entre els 150 i $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ la falca es localitza a l'entrada de l'illa de Gràcia, on trobem una altra barrera natural en el llit del riu (fig. 11). La falca es manté en aquesta alçada si el cabal no disminueix progressivament. A la figura 17 podem veure els valors de la conductivitat a les tres capes diferenciades quan la falca salina se situa a l'illa de Gràcia des de finals de juliol fins a octubre al 1987.

La presència de la falca salina a l'Ebre està demostrada des de fa molts anys (ARAGON, 1943) i és una característica de molts dels rius mediterranis als mesos d'estiatge (SAAD i ABBAS, 1985; BOLDRIN i RABATTI, 1986; PAUC, 1987). Actualment aquest efecte s'agreuja pels cabals mínims determinats per les operacions dels embassaments, d'aquesta manera la presència de la falca es pot estendre a períodes no propis de l'estiatge com és ara l'hivern. L'efecte de fluctuacions diàries importants podrien actuar també sobre la dinàmica de la falca.

La conductivitat als canals de reg

La conductivitat de l'aigua dels canals augmenta des de la seva entrada al delta ($\bar{x}=0.98 \pm 0.09$) fins que surt a les badies. L'estació de la sèquia de l'Ala presenta uns valors més constants i molt superiors (al voltant dels $3 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) als de l'aigua d'entrada (fig. 18) menys en el mes de setembre, on té una baixada a $1.2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$. L'aigua que

Estacions	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	màxim	mínim
XER	0.974 ± 0.039	1.458	0.685
TOR	1.040 ± 0.054	1.642	0.799
AMS	1.201 ± 0.087	2.460	0.702
AMF	6.744 ± 2.720	50.700	0.702
DES	3.874 ± 0.483	8.300	1.167
DEF	29.437 ± 4.237	59.800	1.187

Taula II : Valors mitjans, mínims i màxims de la conductivitat ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) per les estacions del riu.

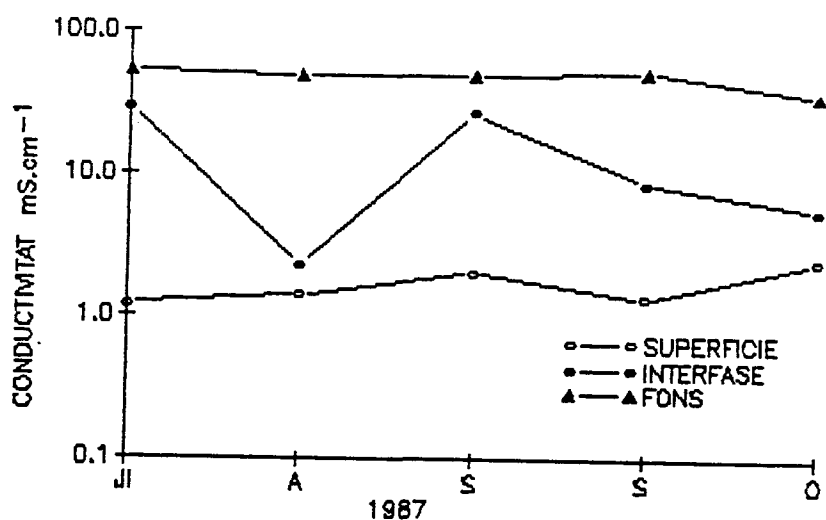


Fig. 17 : Valors de conductivitat a l'estació de l'illa de Gracia en la superfície, el fons i la interfase o capa de màxim gradient.

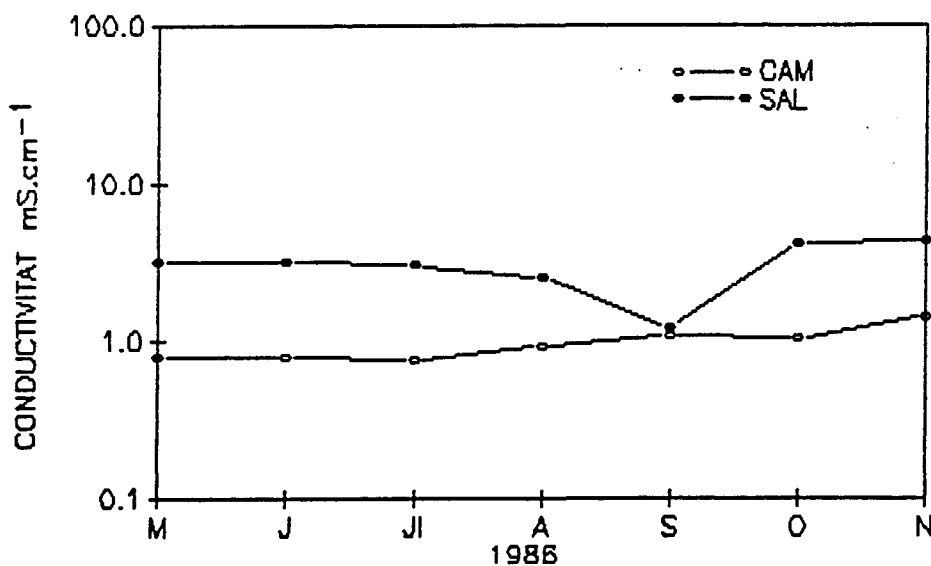


Fig. 18 : Valors de conductivitat als canals de reg.

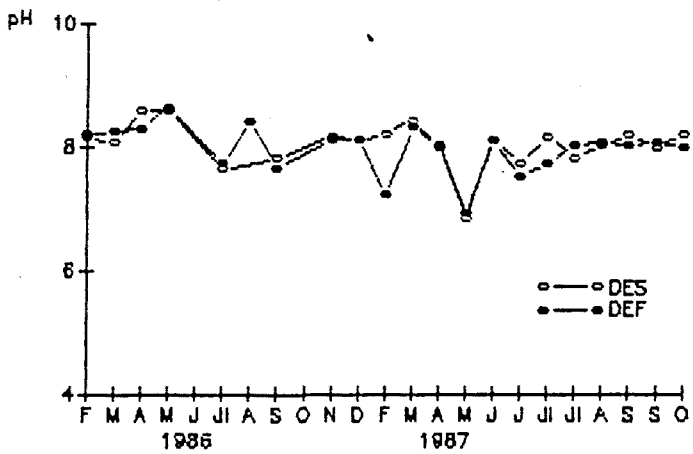
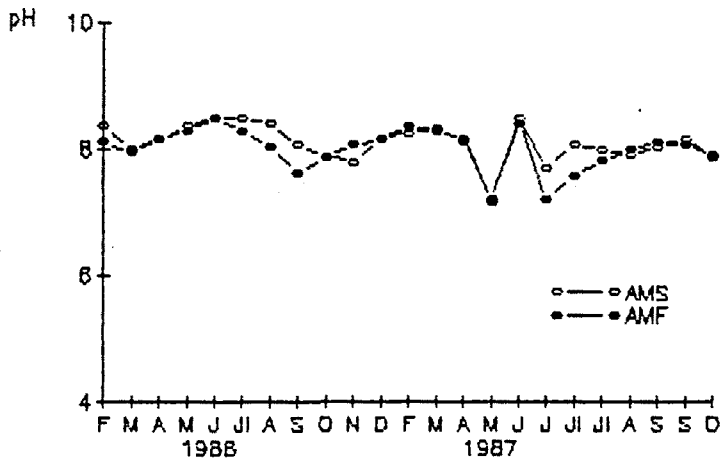
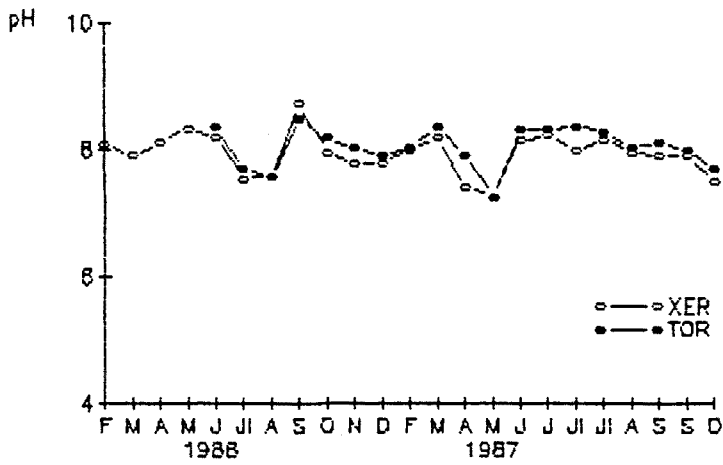


Fig. 19 : Variació anual dels valors de pH al riu.

entra a les llacunes també supera sempre els $1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

La conductivitat de l'aigua s'incrementa a mesura que travessa els camps d'arròs, com correspon a aigües que en el seu trajecte han estat rentant terrenys de cultiu fortament adobats (FORES, 1989). Aquesta conductivitat augmenta encara més quan sortim de les llacunes, els valors dels dos canals de sortida ens mostren un increment molt alt al llarg de la major part del període mostrejat (SCE $\bar{x}=13\pm 3.13$, SCT $\bar{x}=19\pm 3.4$). Resta dir, però, que alguns dels valors estan més clarament relacionats amb la comunicació estreta entre aquests canals de sortida i la badia. Aquest no és el cas de la sèquia de l'Ala perquè sempre manté un cabal força important per impedir que l'aigua de la badia entri pel canal. Si el nivell del mar és alt i hi ha perill d'entrada d'aigua salada, la sortida es tanca i l'aigua dolça es treu mecànicament. Aquest sistema no existeix en els canals de sortida de les llacunes, on s'aprofiten els corrents cap a la badia o cap a la llacuna per a la pesca.

2.1.3. pH

En el cas de les aigües dolces, el pH del medi és un bon indicador d'un conjunt de propietats molt importants per a la vida. Les seves variacions ens permeten precisar altres fenòmens com ara l'alcalinitat, les concentracions de les formes de C inorgànic o bé d'altres relacionats amb activitats d'òxido-reducció. En general, a les aigües epicontinentals el pH oscil·la entre 6.5 i 8.7 (MARGALEF, 1974).

Els valors de pH a la part baixa de l'Ebre oscil·len entre 7.0 i 8.6 (fig. 19) i presenten una distribució de freqüències pràcticament normal (fig. 20).

No trobem un patró clar de variació riu avall ni al llarg del temps. Hi ha certes diferències entre la superfície i el fons de les estacions d'Amposta i la desembocadura (fig. 19), especialment en alguns mesos d'estiu lligats a períodes de màxima producció fitoplanctònica. L'estació de Tortosa presenta valors un xic més alts que l'estació de Xerta tot i tenir unes característiques similars.

El pH als canals de reg

En primer lloc l'aigua del canal principal abans d'entrar en els camps (estació canal d'Amposta, CAM) té un pH (fig. 21) molt similar ($\bar{x}=8.2\pm 0.13$) al de l'aigua del riu en aquest punt, però quan surt cap a la badia després de regar els camps d'arròs té un pH significativament més baix (fig. 21, est. SAL) amb una $\bar{x}=7.6\pm 0.18$.

Aquest pH disminueix, en general, al llarg del cicle en els canals de la sèquia de

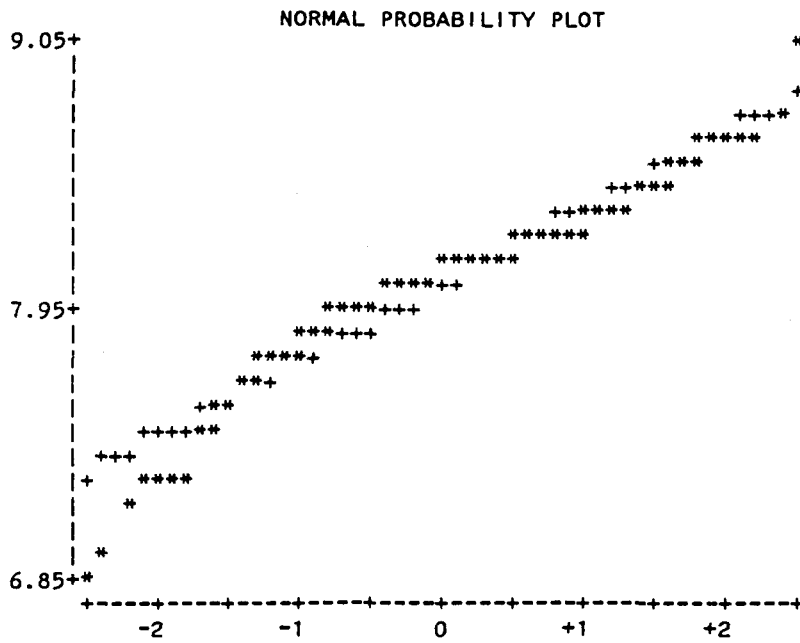


Fig. 20 : Valors de pH del riu ordenats segons el seu rang. Els valors s'alineen sobre una recta mostrant la normalitat.

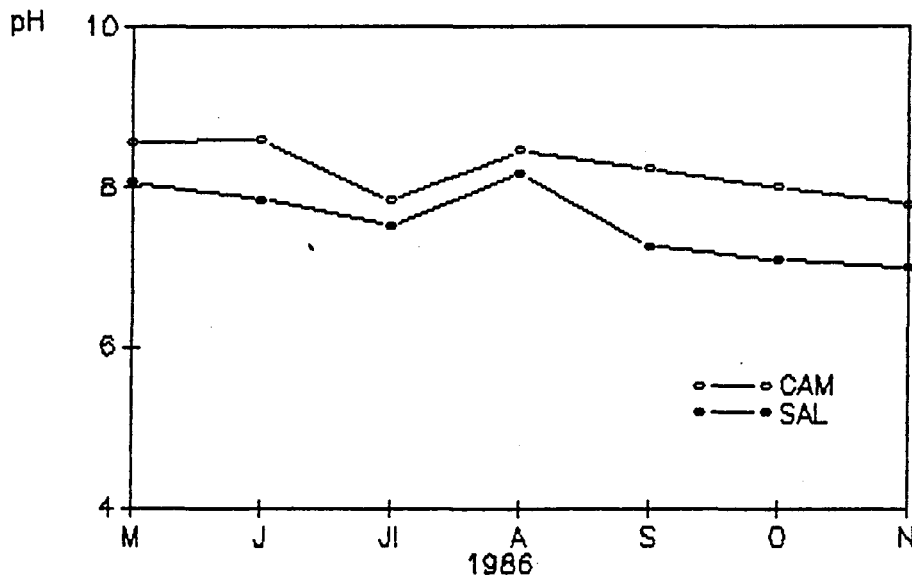


Fig. 21 : Valors de pH als canals.

l'Ala i en els d'entrada a les llacunes.

Si estudiem els canals que travessen les llacunes, els resultats són diferents. En el cas dels canals de l'Encanyissada la mitjana del pH d'entrada és 7.52 ± 0.08 , mentre que en sortir té una lleugera pujada ($\bar{x}=8.02 \pm 0.11$). El mateix succeeix a la llacuna de la Tancada (\bar{x} entrada= 7.82 ± 0.27 , \bar{x} sortida= 8.22 ± 0.13), però en aquesta darrera llacuna les diferències són més importants especialment al final de l'estiu i la tardor.

2.1.4. ALCALINITAT I CARBONI INORGÀNIC

La reserva alcalina o alcalinitat s'entén com l'excés de cations dissolts no neutralitzats per àcids forts, que es troben neutralitzats per anions febles com l'OH, bicarbonat, carbonat, borats, silicat... segons la composició de l'aigua (STUMM i MORGAN, 1981). En les aigües dolces l'alcalinitat varia entre uns marges molt amples, des de 0.3 en llocs amb terrenys silícics fins a 4.5 meq.l⁻¹ en llocs alcalins, o més si els bicarbonats estan en equilibri amb el sodi (MARGALEF, 1974).

Els valors d'alcalinitat mesurats a la part baixa de l'Ebre tenen un rang de variació molt petit (taula III). Van des de 2.4 meq.l⁻¹ (fig. 22) en aigües de fons a l'estació de la desembocadura, fins a una concentració de 3.5 meq.l⁻¹, que fou mesurada a totes les estacions especialment al llarg dels mesos d'hivern.

No s'observa una variació important de l'alcalinitat aigües avall, tan sols destaca una diferència important entre les aigües de superfície i fons a l'estació de la desembocadura. Aquestes diferències es fan més clares en els períodes on el cabal és baix. Durant els mesos d'hivern amb cabals importants els valors de superfície i fons tornen a ser els mateixos. Els valors al fons van de 2.4 a 2.9 meq.l⁻¹, mentre que a la superfície els mínims no baixen de 2.8 meq.l⁻¹ i els màxims són de 3.1 meq.l⁻¹.

Tampoc s'observen fluctuacions importants al llarg de l'any (fig. 22). L'estació més fluctuant és, de nou, la desembocadura i especialment les aigües del fons majoritàriament d'origen marí i l'alcalinitat més baixa que la de les aigües del riu. Durant l'estiatge sembla que l'alcalinitat tendeix a disminuir a totes les estacions. Però aquestes diferències són molt petites si exceptuem la desembocadura.

En general l'alcalinitat de moltes aigües epicontinentals és funció majoritàriament dels bicarbonats i els carbonats, per això l'alcalinitat total es pot prendre com una indicació de la concentració d'aquests compostos. La relació entre l'alcalinitat d'una aigua i el seu contingut total de C inorgànic depèn del pH. Es pot determinar la quantitat de C inorgànic disponible a partir del pH i de l'alcalinitat combinant les diferents expressions de l'equilibri.

La concentració mitjana de carboni inorgànic oscil·la entre els 3 i 3.2 mmol.l⁻¹

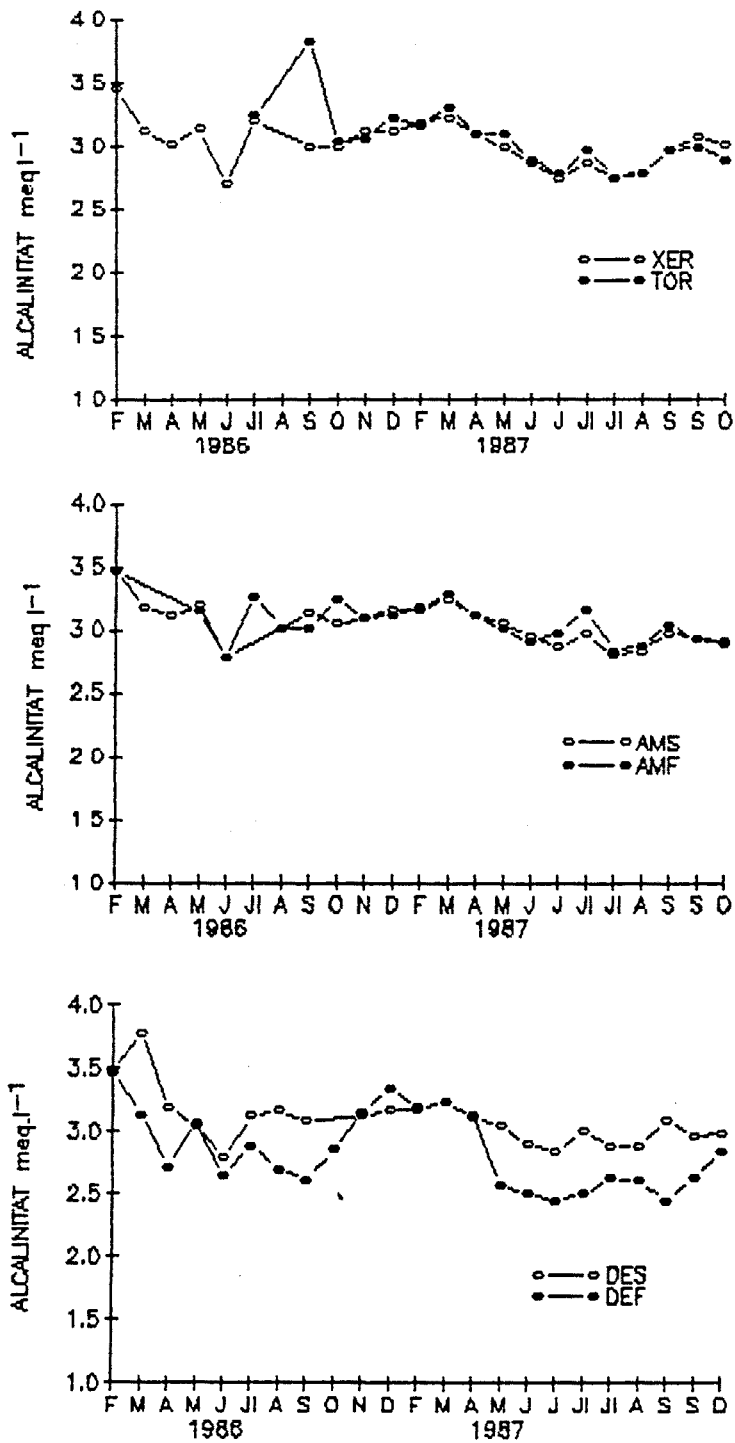


Fig. 22 : Evolució de l'alcalinitat a les estacions del riu.

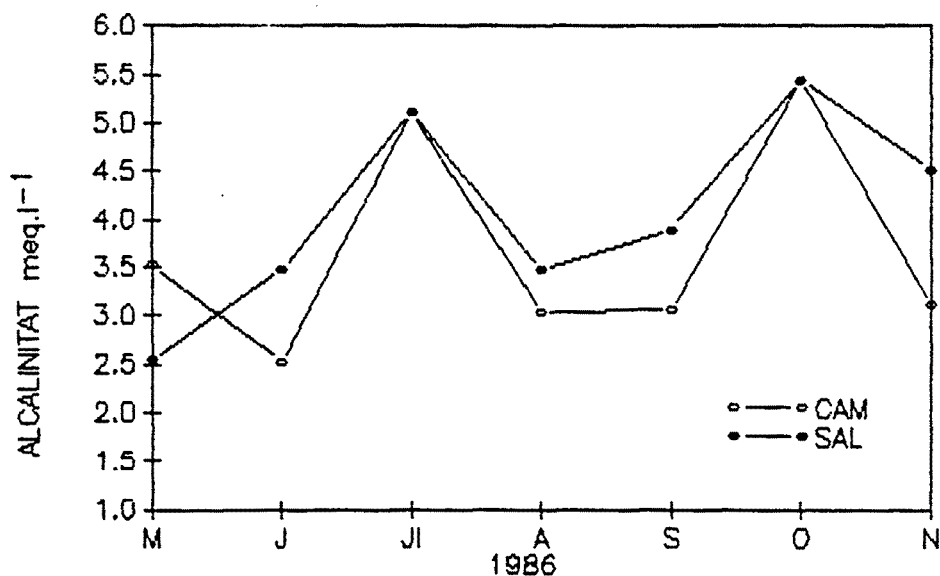


Fig. 23 : Alcalinitat als canals de reg.

Estació	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	màxim	mínim
XER	3.0708±0.039	3.487	2.704
TOR	3.0714±0.062	3.832	2.761
AMS	3.1886±0.037	3.484	2.632
AMF	3.1000±0.041	3.485	2.784
DES	3.1251±0.073	3.776	2.805
DEF	2.8972±0.065	3.484	2.450

Taula III : Valors mitjans, mínims i màxims de l'alcalinitat (meq.l⁻¹) per les estacions del riu.

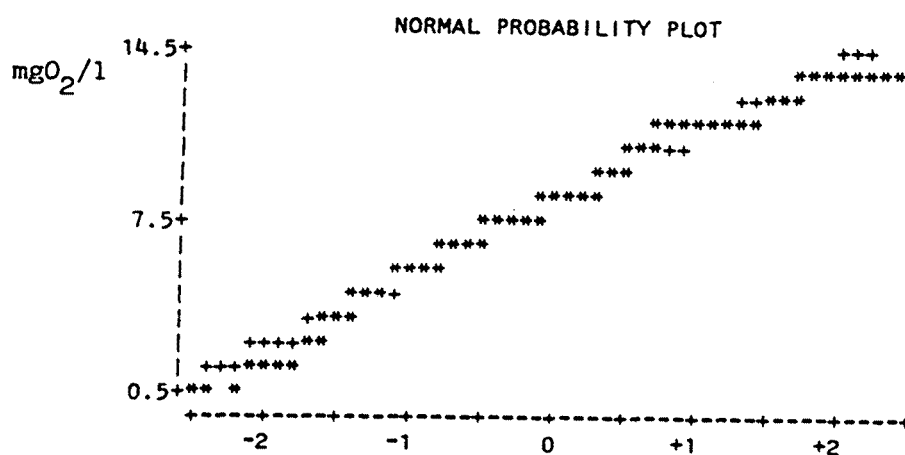


Fig. 24 : Concentracions d'oxigen a l'aigua del riu, ordenats pel seu rang.

sense observar-se variacions importants al llarg de l'any ni entre estacions, només les aigües del fons de la desembocadura presenten valors mitjans més baixos de 2.9 mmol.l⁻¹. Les formes en què es presenta el carboni inorgànic són en un 96-97 % el bicarbonat (HCO₃⁻), l'àcid carbònic (H₂CO₃) representa el 2-3 % i l'ió carbonat (CO₃²⁻), entre el 0.5-1 %.

L'alcalinitat als canals de reg

L'alcalinitat s'incrementa en general des de maig a novembre en els canals d'entrada a les llacunes passant de 3.22 a 4.02 al canal d'entrada a l'Encanyissada i d'1.54 a 4.47 a l'entrada de la Tancada. L'evolució és diferent en els canals de sortida, on l'alcalinitat tendeix a ser més baixa amb valors més constants al llarg de tot l'estiu (sortida canal Encanyissada $\bar{x}=3.72\pm 0.20$, sortida canal Tancada $\bar{x}=3.19\pm 0.17$).

A la sèquia de l'Ala les variacions de l'alcalinitat segueixen el mateix patró que a les aigües que arriben al sistema deltaic (canal d'Amposta), però amb concentracions superiors. La mitjana a CAM és 3.68 ± 0.42 i a SAL 4.06 ± 0.38 (fig. 23).

2.1.5. OXIGEN

Els valors d'oxigen que podem determinar en un punt concret són generats per causes diferents. D'una banda, l'oxigen és consumit per respiració i processos d'oxidació microbiològica. Es renova a través de la producció fotosintètica i pels processos físics d'intercanvi a través de la superfície de l'aigua que estan determinats per la pressió atmosfèrica (menys pressió a més alçada) i per la temperatura (més solubilitat a temperatura més baixa).

La mitjana de la concentració d'oxigen al llarg de tot el riu és de 8.23 ± 0.21 mg.l⁻¹ amb una distribució de freqüències pràcticament normal (fig. 24). Les variacions són clares a totes les estacions (fig. 25) i en general s'observen valors més alts (13 mg.l⁻¹) a l'hivern lligats a temperatures de l'aigua més baixes i també al factor agitació, quan hi ha més turbulència el transport és més ràpid de forma que s'accelera la difusió. A les èpoques de cabals màxims (maig, 1986 i abril, 1987), s'observen lleugers increments en la concentració d'oxigen a totes les estacions.

La situació canvia a l'estiu amb temperatures altes i proliferació d'algues al fitoplàncton i també amb una taxa de mineralització de la matèria orgànica per part dels heteròtrofs més gran, afavorits per les altes temperatures. Així es donen concentracions més baixes al voltant dels 6 mg.l⁻¹ (73 % de saturació) a l'estiu de 1987 i de 8 mg.l⁻¹

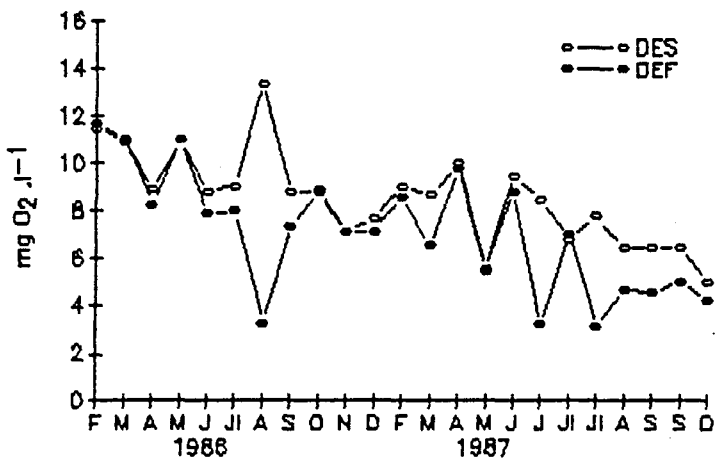
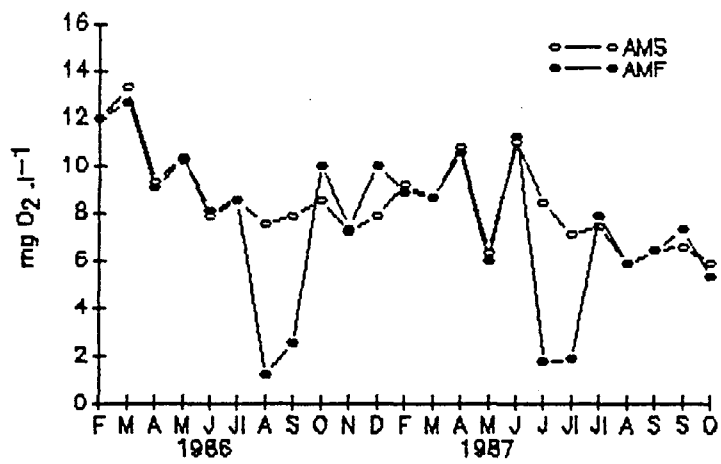
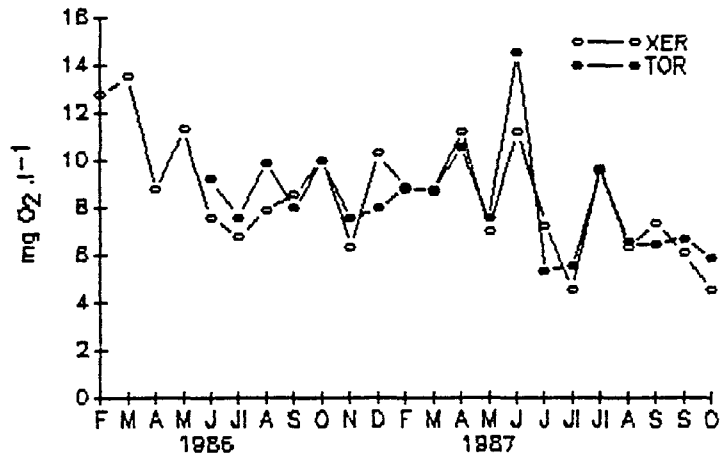


Fig. 25 : Evolució anual de la concentració d'oxigen en el riu.

(94 % de saturació) al 1986.

Si estudiem l'eix vertical a les estacions estuarines veiem, en el cas de l'estació d'Amposta, concentracions mínimes en el fons els dos estius, 1.14 (15 % saturació) i 2,54 mg.l⁻¹ (30 %) durant agost i setembre de 1986, respectivament. Durant l'estiu de 1987 aquests valors van arribar a ser inferiors (0.42 mg.l⁻¹ o 5 % saturació).

Si observem (fig. 26) la concentració d'oxigen a l'estació addicional de l'illa de Gràcia quan la falca salina era present, els valors mínims de fons són estables al llarg de tot l'estiu i només cap al final del període la concentració puja s'aproxima a la de la superfície. En aquest cas podem veure com el perfil vertical mostra el gradient d'oxigen a través de les tres capes diferenciades. Passem d'un 87 % de saturació a la superfície a un 56 % a la interfase i a un 18 % al fons. En aquesta estació quan l'estiu està molt avançat (finals de setembre) pot arribar a zero.

A l'estació de la desembocadura trobem durant l'estiu valors sempre més baixos al fons que a la superfície, les concentracions es fan cada cop més diferents a mesura que avança l'estiu i tornen a coincidir amb els de la superfície quan els cabals augmenten. Cal destacar el màxim d'agost de 1986 a la superfície (13.37 mg.l⁻¹). Les diferències entre superfície i fons són sempre més marcades a l'estació d'Amposta o Gràcia, segons se situï la falca, que no pas a la desembocadura.

El procés de dèficit d'oxigen quan hi ha una barreja entre aigua dolça i salada s'ha detallat en molts estuaris (SAAD i ABBAS, 1985; MORRIS et al., 1978; 1982; RINCE et al., 1985; SALIOT et al., 1985; BOLDRIN i RABITTI, 1986) i s'atribueix a fenòmens d'acumulació de partícules en suspensió, moltes d'elles d'origen orgànic que són oxidades per via química o bacteriana, i a l'efecte de barrera de la quimioclina (ARMENGOL et al., 1981). Aquest efecte és diferent segons la influència directa de l'aigua de mar (PEELEN, 1974). El procés es complica amb l'increment de la sedimentació de part de la important producció primària de la superfície, aquesta acumulació cap al fons pot ser una de les majors causes de l'anòxia (KENNISH, 1986).

La concentració d'oxigen als canals

L'aigua del canal principal (CAM) té una concentració d'oxigen (fig. 27) que correspon aproximadament al 120 % de saturació, concentració que fins i tot és més alta que la del mateix riu quan entra al canal. La velocitat de l'aigua i la turbulència són molt importants al canal, això fa que la difusió física del gas sigui més fàcil, a més s'hi afegeix la important producció primària d'algues i macròfits a les parets. A mesura que l'aigua fa el seu trajecte vers el sistema dels camps d'arròs, aquesta concentració disminueix i a la badia desemboca aigua amb un 85 % de saturació des del canal de la sèquia de l'Ala. L'acumulació de material particulat pot explicar aquesta disminució en

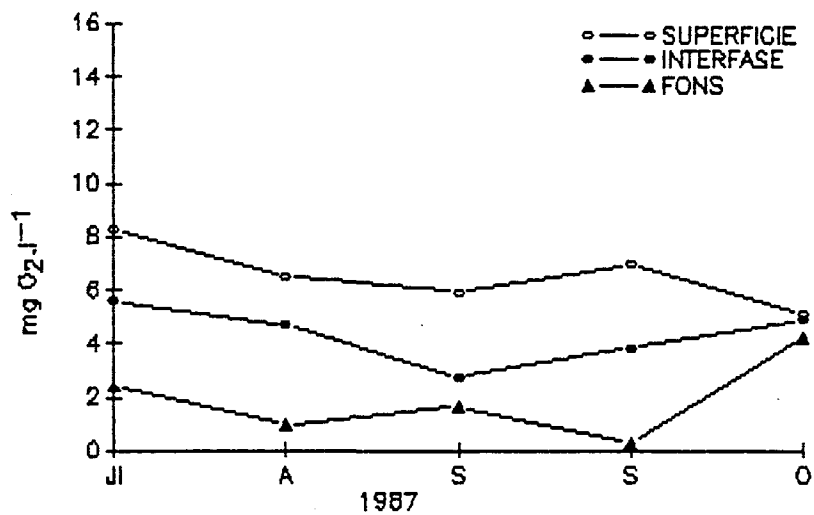


Fig. 26 : Variació anual i perfil vertical de la concentració d'oxigen a l'estació de l'illa de Gràcia, en presència de la falca salina.

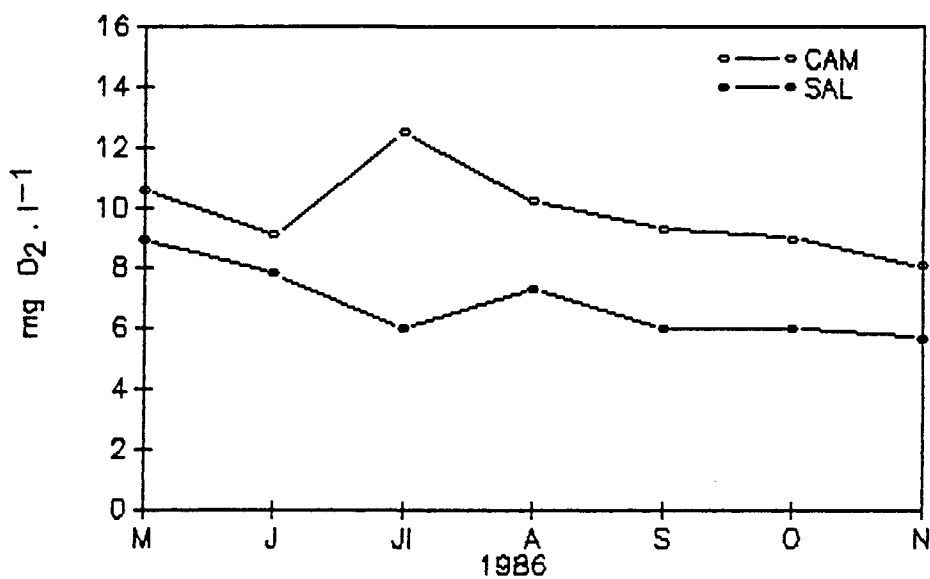


Fig. 27 : Concentració d'oxigen a l'aigua dels canals de reg.

el percentatge de saturació d'oxigen dels canals de sortida.

L'aigua que arriba a les llacunes té una concentració d'oxigen que oscil·la entre els 6.9 i 4.5 mg.l⁻¹ en el canal de l'Encanyissada i entre 10.8 i 4.1 mg.l⁻¹ en el de la Tancada. La concentració augmenta quan l'aigua surt de les llacunes.

Les concentracions passen d'una mitjana del 70 % de saturació a l'entrada de l'Encanyissada a un 90 % a la sortida, i del 85 % a l'entrada de la Tancada a un 95 %.

2.2. NUTRIENTS: CANVIS TEMPORALS

2.2.1. NITROGEN

Les formes de nitrogen dominants en aigües dolces són el nitrogen molecular (N₂), l'amoni (NH₄⁺), el nitrit (NO₂⁻), el nitrat (NO₃⁻) i un gran nombre de compostos orgànics tant en forma particulada procedent de les cèl·lules vives o matèria orgànica morta, com dissolta (aminoàcids, amines, nucleòtids, proteïnes i àcids húmics de baix contingut en nitrogen).

Les fonts de nitrogen inclouen el nitrogen contingut en les precipitacions atmosfèriques, la fixació de nitrogen en aigües i sediments i els inputs d'origen antropogènic. Les pèrdues poden ser degudes al transport aigües avall cap el mar, la reducció de nitrat a nitrogen molecular per desnitrificació bacteriana amb pèrdua de N₂ a l'atmosfera i per sedimentació de compostos orgànics i inorgànics amb contingut de nitrogen. Totes les formes de nitrogen estan interrelacionades per processos bioquímics que van des de la fixació de N₂, la forma més abundant però no directament utilitzable pels animals i plantes, tan sols ho és per alguns bacteris i algues cianofícies, fins a les reaccions de nitrificació i desnitrificació també per activitat bacteriana.

L'assimilació de nitrogen en forma d'amoni requereix una despesa energètica menor que en forma de nitrat i aquesta menys que la fixació de nitrogen molecular. Per això és important la utilització d'amoni i la seva concentració és normalment baixa en aigües en condicions aeròbiques. A més dins del procés de la nitrificació bacteriana l'amoni derivat de la descomposició de la matèria orgànica i de l'excreció és oxidat, a través de diversos compostos intermedis, a nitrit i més tard a nitrat. Quan les condicions són anaeròbiques la nitrificació s'atura.

Els nitrits són la forma més inestable i rarament s'acumulen.

Els nitrats són la forma més abundant de nitrogen inorgànic en els rius i també font de nitrogen per algues i macròfits. L'assimilació de nitrat pot reduir de forma important

la seva concentració (KAUL i FROELICH, 1984). Una altra causa de pèrdua de nitrat pot ser la desnitrificació bacteriana, que és la reducció bioquímica de formes oxidades de nitrogen fins a N_2 amb la consegüent oxidació de la matèria orgànica. Molts gèneres de bacteris anaeròbics facultatius utilitzen el nitrat com a acceptor d'hidrogen en l'oxidació de substàncies orgàniques. La desnitrificació té lloc tant en condicions anaeròbiques com aeròbiques (WETZEL, 1983) i especialment en sediments anòxics, on la concentració de substrats oxidables és relativament abundant.

2.2.1.1. Nitrat

Els valors de nitrats oscil·len entre els 30 i 200 μM (fig. 28) a les estacions de superfície (94 % del total de nitrogen inorgànic), amb valors mínims al llarg de tot l'estiu. L'activitat del fitoplàncton regula la concentració de nitrats, un increment en l'activitat fotosintètica porta un consum important de nitrat (WETZEL, 1983; FISHER et al., 1988; SAAD i ABBAS, 1985; LINDEBOOM et al., 1983; PETERSON et al., 1985). El decrement a l'Ebre s'observa en totes les estacions superficials. Les concentracions són també més baixes a la desembocadura que a les altres tres estacions.

L'estratificació de l'aigua del riu genera variacions verticals de la concentració de nitrat. A l'estació d'Amposta la concentració en el fons és similar a la de superfície excepte els mesos amb presència de falca salina (agost i setembre de 1986 i finals de juny, principis de juliol de 1987), on la concentració és mínima. Aquesta és també molt baixa al fons de l'illa de Gràcia quan la falca salina se situa en aquesta estació (fig. 29a). Es pot veure un gradient des dels màxims de superfície ($\bar{x}=92.17 \pm 10.9$) als mínims de fons ($\bar{x}=14.43 \pm 6.45$) passant per valors intermedis a la interfase ($\bar{x}=45.34 \pm 9.64$).

A l'estació de la desembocadura la concentració de fons té unes oscil·lacions que es corresponen inversament a la conductivitat, és a dir, quan la conductivitat és alta (influència del mar) la concentració de nitrats és baixa, de l'ordre de 10 μM . Quan per un cabal més alt la influència del mar és més petita aquesta concentració és més propera a la del riu.

Els nitrats poden ser consumits pels organismes fotosintètics especialment quan aquesta concentració és alta, com és el cas dels rius, però també es pot perdre nitrat per desnitrificació quan les condicions són intensament anaeròbiques o el sediment és anòxic i hi ha una concentració de matèria orgànica oxidable important. A Amposta o a l'illa de Gràcia, quan arriba la falca salina s'estableix una capa d'aigua salada al fons amb un temps de renovació molt alt. La mateixa topografia del riu fa difícil aquesta renovació, només un cabal important, al voltant dels 200 $m^3 \cdot s^{-1}$ o superior pot trencar l'estratificació. La matèria orgànica que es produeix en superfície va sedimentant cap al fons afavorida per la baixa velocitat de l'aigua dolça superficial. L'oxidació d'aquesta matèria orgànica requereix una font d'oxigen important, però quan aquest s'esgota, com

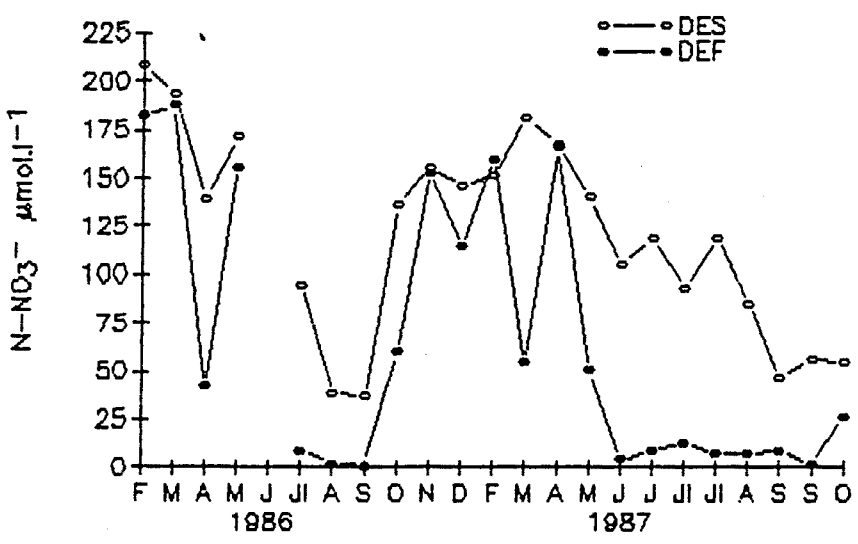
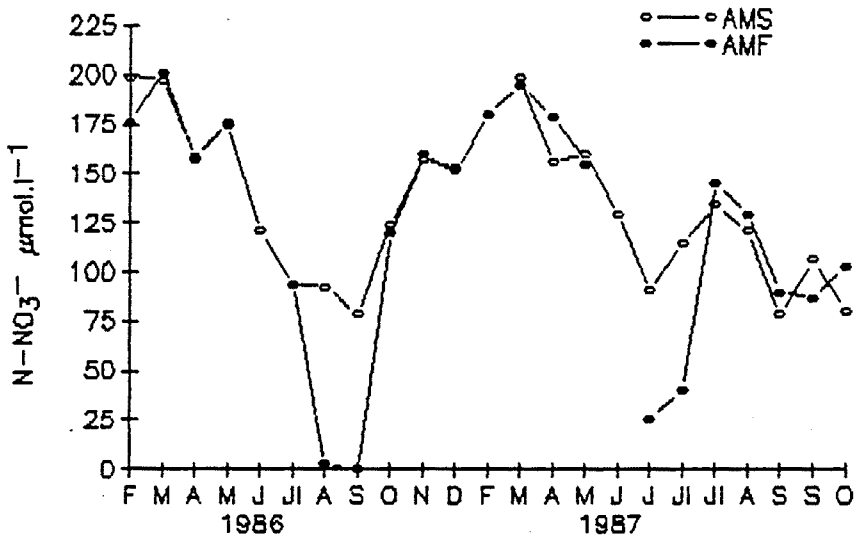
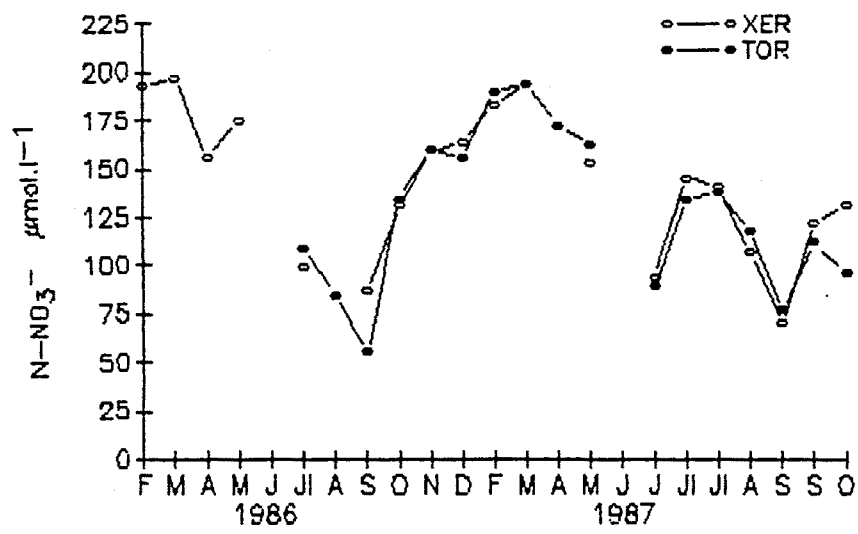


Fig. 28 : Evolució anual de la concentració de nitrats al riu.

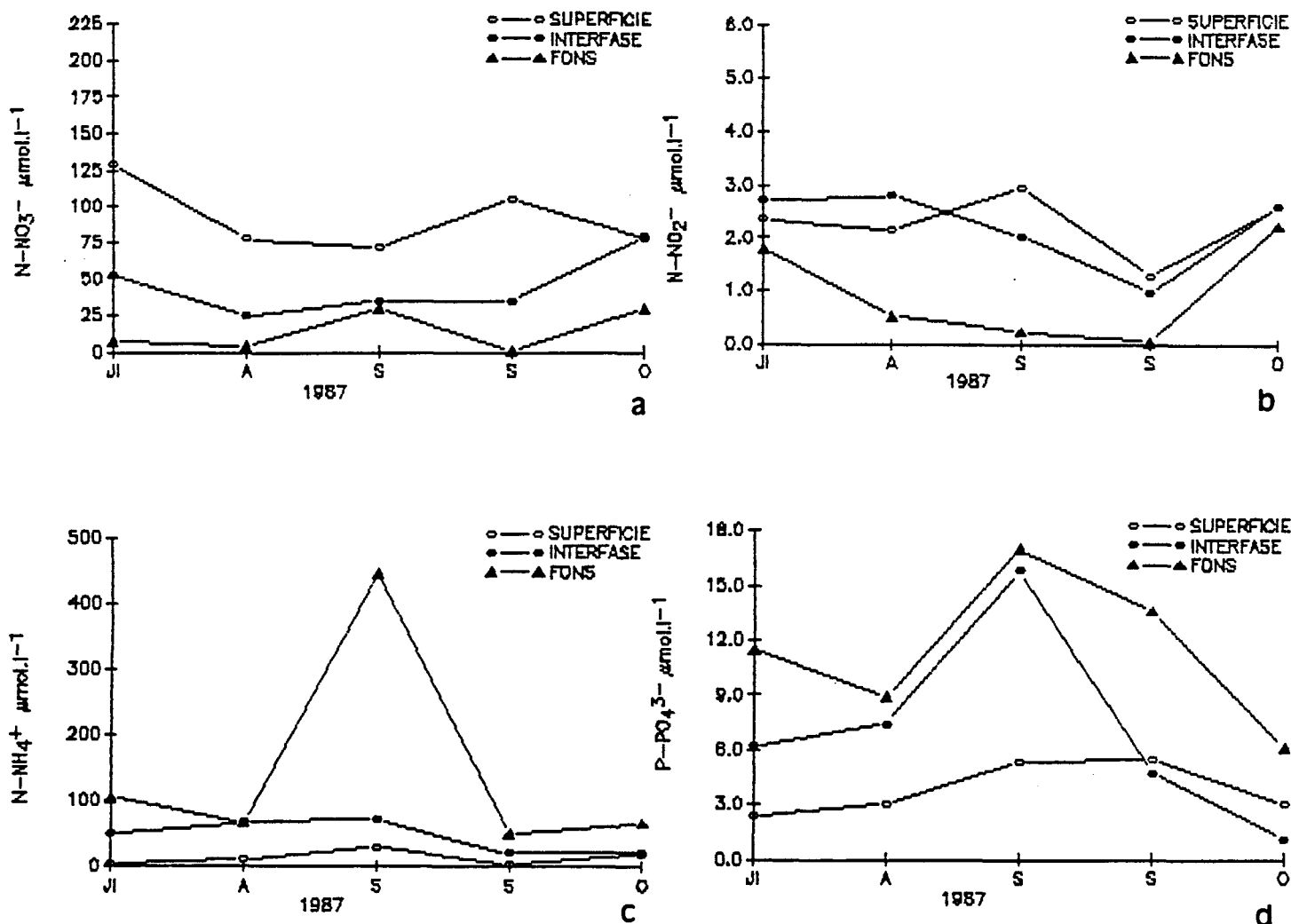


Fig. 29 : Evolució anual i distribució vertical de la concentració de nutrients a l'illa de Gràcia quan es desenvolupa la falca salina: a) nitrats; b) nitrits; c) amoni; d) ortofosfat.

Estació	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	màxim	mínim
XER	2.73±0.16	3.99	1.43
TOR	2.06±0.21	3.99	0.78
AMS	2.79±0.20	4.24	0.70
AMF	2.24±0.29	5.25	0.25
DES	2.17±0.21	3.81	0.54
DEF	1.71±0.22	3.78	0.04

Taula IV : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de nitrits ($\mu\text{mol.l}^{-1}$) per les estacions del riu.

hem vist anteriorment, a mesura que progressa la situació de falca salina els microorganismes poden optar per utilitzar el nitrat com a font d'oxigen. Aquests fenòmens de desnitrificació són presents a les zones on aigües dolces i aigües salades es posen en contacte especialment en ambients estuarins (KENNISH, 1986), i sobretot a l'estiu quan el cabal del riu és baix i la producció primària important.

La desnitrificació determina el comportament no conservatiu del nitrat els mesos de maig a juliol a l'estuari del riu Choptank (WARD i TWILLEY, 1986) i a l'estuari del Loira també a l'estiu i amb dèficits d'oxigen (RINCE et al., 1985; MEYBECK et al., 1988). HILL (1979) estima que la desnitrificació an les parts baixes dels rius que ha estat estudiant representa entre el 5 i 6 % del transport anual de nitrogen cap al mar.

La concentració de nitrats als canals

La concentració de nitrats disminueix a mesura que l'aigua travessa el sistema deltaic (fig. 30a). Des d'una concentració propera als $100\mu\text{M}$ ($\bar{x}=98.6\pm 12.7$) del canal d'Amposta, s'arriba a la meitat en el cas de la sèquia de l'Ala ($\bar{x}=50.43\pm 7.6$) i a concentracions encara més baixes a la resta de canals (ECE $\bar{x}=24.01\pm 10.99$; SCE $\bar{x}=16.74\pm 9.74$; ECT $\bar{x}=3.17\pm 1.71$; SCT $\bar{x}=2.6\pm 1.42$).

2.2.1.2. Nitrit

Els nitrits són conseqüència d'una oxidació incompleta de l'amoni o d'una reducció dels nitrats. Els nitrits són, però, molt inestables i fins i tot poden ser tòxics pels organismes i en general no solen ser la forma dominant de nitrogen inorgànic dissolt.

La concentració de nitrits varia entre 1 i $4\mu\text{M}$ a les estacions de superfície de l'Ebre (fig. 31), cosa que suposa entre un 1-2 % del nitrogen inorgànic total.

Durant l'estiu la concentració disminueix respecte als mesos d'hivern, valors al voltant de $0.7 - 2\mu\text{M}$ eran comuns a l'estiu de 1986, mentre que a l'estiu de 1987 la concentració de nitrits no era tan baixa ($1-3\mu\text{M}$). Com en el cas dels nitrats, la desembocadura presenta valors un xic més baixos que a la resta d'estacions (taula IV); Tortosa també presenta valors més baixos al llarg de pràcticament tot el cicle. El cicle estiu-hivern no és tan marcat en el cas dels nitrits com succeïa amb els nitrats. Les fortes fluctuacions entre estacions i dintre de cada estació en diferents èpoques fan pensar en un dinamisme propi a cada estació.

A les estacions de fons la concentració de nitrits és en general més baixa que a la superfície (taula IV). A Amposta amb falca salina tenim comportaments diferents dels nitrits en els dos estius mostrejats. Al 1986 es localitzen mínims de 0.33 i $0.25\mu\text{M}$, i al

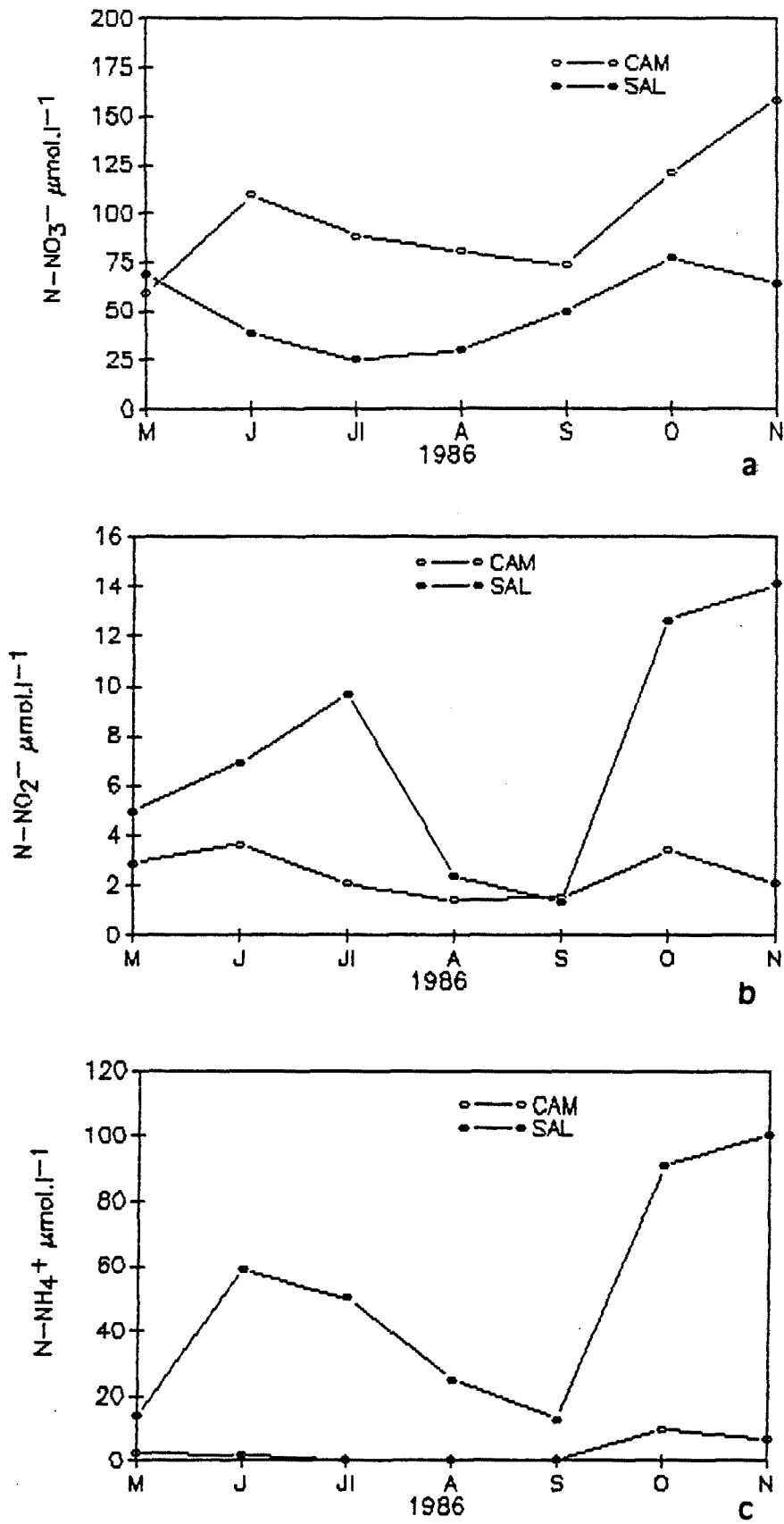


Fig. 30 : Evolució anual de la concentració de nutrients als principals canals de reg: a) nitrats; b) nitrits; c) amoni.

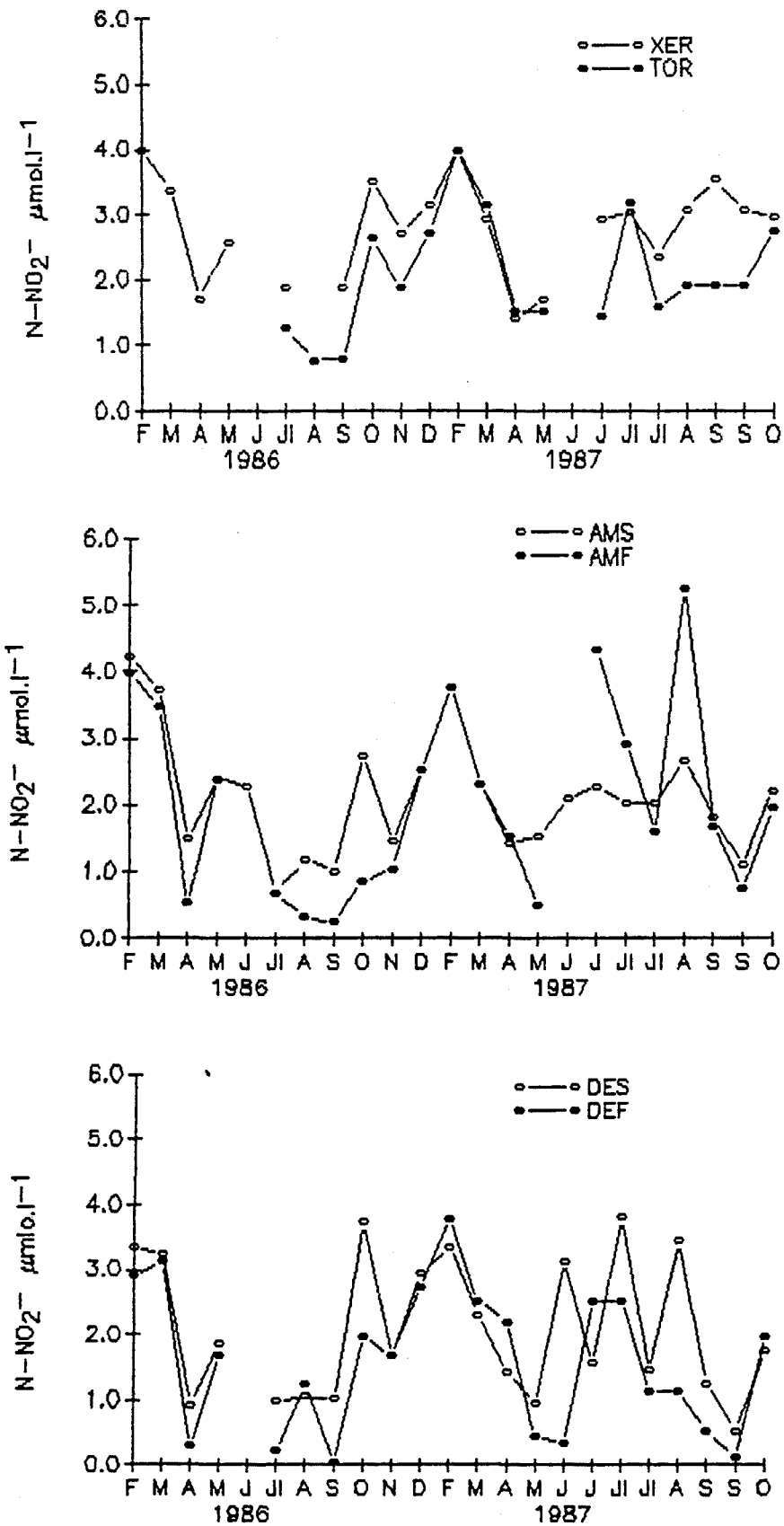


Fig. 31 : Evolució anual de la concentració de nitrits al riu.

1987 les concentracions són de 4.3 i 2.9 μM . En la figura 29b podem veure el perfil vertical de la concentració de nitrats a l'illa de Gràcia, la concentració en el fons és sempre més baixa (aproximadament 1 μM), mentre que els valors de superfície i d'interfase són més propers entre si i oscil·len entre 1-3 μM al final del cicle, a l'octubre, el gradient es trenca.

A l'estació de la desembocadura les aigües del fons tenen fluctuacions importants quan estan en contacte amb l'aigua de mar. A l'hivern, quan les condicions són més homogènies, les concentracions de superfície i fons són similars.

La concentració de nitrats als canals

Mentre que els nitrats disminueixen al llarg del sistema de canals, els nitrats presenten concentracions superiors als canals que surten del reg dels camps cap a les badies (fig. 30b). Es passa d'una mitjana de $2.44 \pm 0.33 \mu\text{M}$ al canal d'Amposta a 7.43 ± 1.86 a la sèquia de l'Ala.

En els canals que entren a les llacunes la concentració (ECE $\bar{x}=2.43 \pm 0.54$; ECT $\bar{x}=1.78 \pm 1.05$) és baixa i generalment disminueix encara més a les sortides (SCE $\bar{x}=2.25 \pm 1.28$; SCT $\bar{x}=1.45 \pm 0.81$).

2.2.1.3. Amoni

L'amoni és generat per bacteris heterotròfics com a producte final de la descomposició de la matèria orgànica, tant directament de les proteïnes com d'altres compostos orgànics de nitrogen. També es genera com a producte d'excreció més important dels organismes aquàtics, però la quantitat de nitrogen que ve d'aquesta font és quantitativament més petita comparada amb la generada per la descomposició bacteriana.

L'amoni és la font de nitrogen més econòmica energèticament. L'energia necessària per assimilar nitrogen és menor per l'amoni i s'incrementa cap a les formes més oxidades. Encara que les generalitzacions són difícils, la concentració d'amoni és normalment baixa en aigües ben oxigenades per la seva utilització per les plantes i per la nitrificació bacteriana en què l'amoni és oxidat a nitrit i a nitrat. L'amoni també pot ser adsorbit pels sediments i en condicions de pH alts es pot volatilitzar en forma d'amoníac.

Els valors mitjans per les estacions de superfície són d' $11.54 \pm 2.23 \mu\text{M}$ a Xerta, 8.49 ± 2.39 a Amposta i 12.03 ± 2.53 a la desembocadura. Això suposa entre un 4 % i un 5

% de la concentració total de nitrogen inorgànic dissolt.

Al llarg del cicle anual hi ha poques variacions (fig. 32) amb alguns màxims a l'hivern. Tot i que en altres rius la producció del fitoplàncton afecta primerament la concentració de l'amoni (PETERSON et al., 1985) no s'observa aquest efecte en el nostre cas. En la desembocadura les oscil·lacions són importants i les concentracions són diferents al llarg dels dos anys, l'estiu de 1987 presenta valors superiors als $30\mu\text{M}$. El contacte de les dues masses d'aigua i el propi hidrodinamisme pot resuspendre part del sediment i amb aquest els nutrients dissolts. SIMON i KENNEDY (1987) i KNOX (1986) observen que la concentració d'amoni és més abundant en l'aigua intersticial i en els sediments de les zones de transició entre aigua dolça i aigua de mar. Aquesta concentració és també alta en l'aigua de fons.

A l'estació d'Amposta i en presència de falca salina observem al fons concentracions d'amoni extraordinàriament altes, 65.7 i $118.23\mu\text{M}$ a l'agost i setembre de 1986, respectivament, i 92.2 i 78.3 a les campanyes de finals de juny i principis de juliol de 1987. Aquesta acumulació està relacionada també amb els dèficits d'oxigen, l'acumulació de matèria orgànica i els mínims de nitrats explicats anteriorment. Segons WETZEL (1983), quan l'hipolímnion d'un llac eutròfic comença a ser anaeròbic, la nitrificació s'atura i la interfase sediment-aigua queda també anòxica. Aquesta anòxia redueix la capacitat d'adsorció dels sediments, llavors apareix un increment en la difusió de l'amoni des del sediment cap a la columna d'aigua. Com a resultat d'ambdós processos, la concentració d'amoni en l'hipolímnion augmenta. L'Ebre amb presència de falca salina es podria comportar com un llac en aquest aspecte, la baixa velocitat de corrent de l'aigua dolça en aquestes èpoques afavoreix aquest comportament.

Quan la falca es localitza a l'illa de Gràcia (fig. 29c) la concentració d'amoni s'incrementa cap al fons però s'arriba a concentracions màximes (a principis de setembre) quan l'aigua portà ja un cert temps sense renovació. Al final del període d'estiatge tornen a fer-se més properes les concentracions de superfície i fons.

La relació nitrat:amoni és d'aproximadament 21:1 a les estacions de superfície, però passa a 7:1 a la desembocadura en el fons i la relació s'inverteix (1:473) al fons quan la falca salina està ben establerta.

La concentració d'amoni als canals

La concentració d'amoni als canals s'incrementa respecte a la concentració que arriba des del canal d'Amposta ($\bar{x}=3.21\pm 1.34$) (fig. 30c).

La mitjana de la concentració a la sèquia de l'Ala és de 50.33 ± 13.42 . En el canal d'entrada de l'Encanyissada la concentració és unes 3 vegades superior ($\bar{x}=20.76\pm 10.5$)

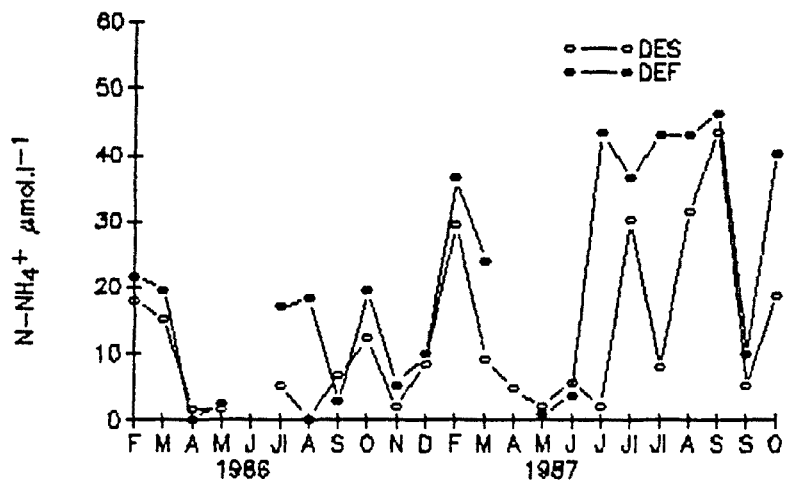
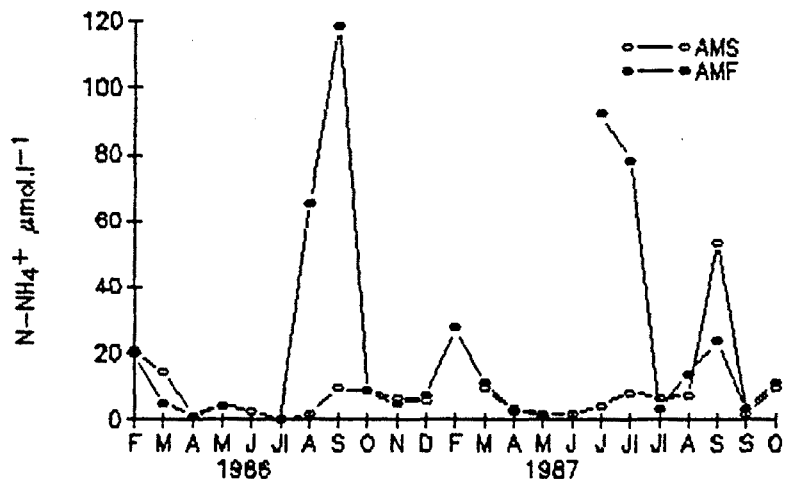
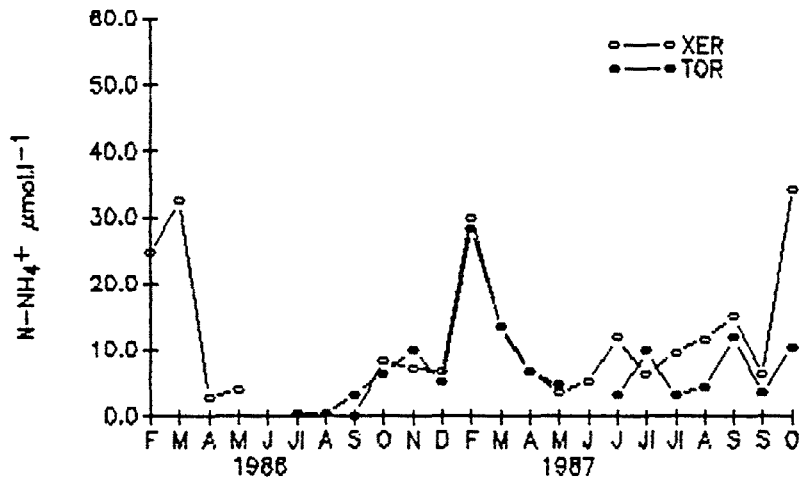


Fig. 32 : Evolució anual de la concentració d'amoni al riu.

a la que surt ($\bar{x}=6.77\pm 2.73$). Als canals de la Tancada l'entrada de nitrogen en forma d'amoni a l'igual de les altres formes de N inorgànic és més baixa que al canal que entra a l'Encanyissada, i les diferències entre les entrades i sortides són més petites (ECT $\bar{x}=5.53\pm 1.82$; SCT $\bar{x}=8.47\pm 3.28$).

2.2.2. FÒSFOR

En contrast amb les nombroses formes de nitrogen que podem trobar als sistemes aquàtics, la forma inorgànica dissolta significativament més important de fòsfor és l'ortofosfat (PO_4^{3-}), que és la forma que pot ser assimilada pels productors primaris. També trobem formes orgàniques dissoltes que representen entre el 2 i el 20 % de la quantitat total de fòsfor en els ecosistemes aquàtics (MARGALEF, 1983). En general el fòsfor dissolt està format per: 1) ortofosfat, 2) polifosfats freqüentment originaris de detergents sintètics, 3) coloids orgànics i 4) èsters de fòsfor de baix pes molecular.

La principal font de fòsfor als rius és la disgregació i neteja de roques i sòls, tot i que, amb proporcions molt reduïdes però, la pluja pot aportar també una certa quantitat de fòsfor al riu (MEYER i LIKENS, 1979; HOBBIÉ i LIKENS, 1973). Una altra forma d'incrementar la concentració de fòsfor al riu, i especialment a les capçaleres, és la descomposició de fulles i restes vegetals (FISHER i LIKENS, 1973). Però actualment, a causa de l'acció de l'home, s'hi han afegit altres fonts de fòsfor i a més han arribat a ser de les més importants, com el fòsfor procedent dels detergents i el fòsfor de les aigües residuals i urbanes, que són una de les causes principals de l'eutrofització de les aigües.

2.2.2.1. Ortofosfat

La taula V ens mostrà els valors mitjans de la concentració de fòsfor en forma d'ortofosfat a cada estació de l'Ebre. Mentre que a les estacions de Xerta, Tortosa i Amposta en superfície la concentració està al voltant de $4\ \mu\text{M}$, a la desembocadura disminueix fins a $3.33\ \mu\text{M}$. A les tres primeres estacions (fig. 33) s'observa un lleuger comportament estacional amb valors més baixos a finals de primavera i principis d'estiu ($1.6\text{-}2.8\ \mu\text{M}$). Aquestes variacions no són tan clares a la desembocadura, on els valors de superfície es mouen sempre més a prop de la mitjana. El decrement de la concentració d'ortofosfat a la primavera i l'estiu pot estar lligat a un consum per part del fitoplàncton (KAUL i FROELICH, 1984; PETERSON et al., 1985; CASSEY et al., 1986; MEYBECK et al., 1988; FISHER et al., 1988; DOWIDAR i ABDEL MOATI, 1986).

A l'estació d'Amposta, en fondària, la concentració és similar a la de superfície menys en els períodes de falca salina (fig. 33); el mateix patró segueix l'estació de l'illa de Gràcia quan la falca s'estableix a aquesta alçada (fig. 29d). Les concentracions passen

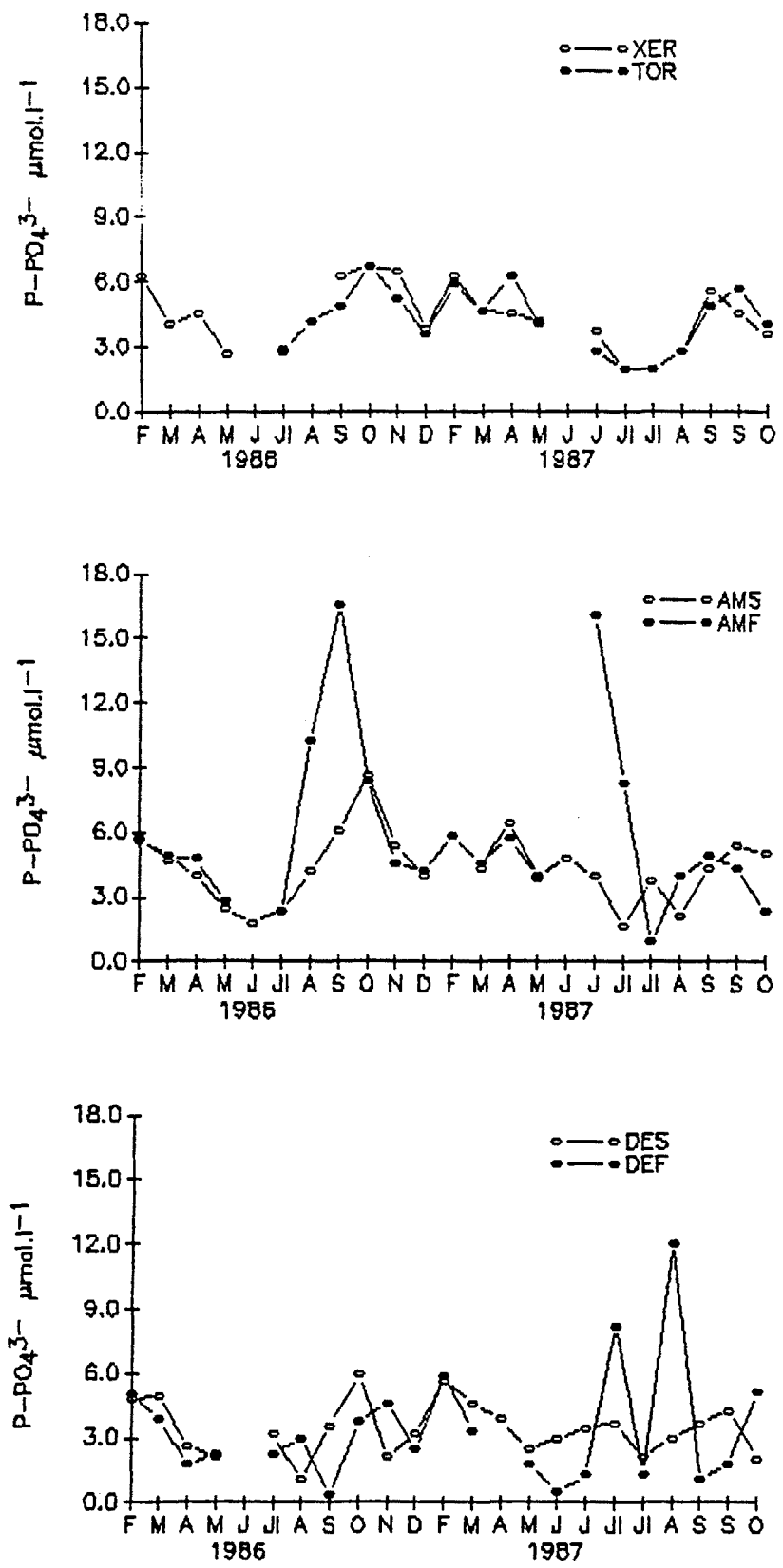


Fig. 33 : Variació anual de la concentració d'ortofosfat al riu.

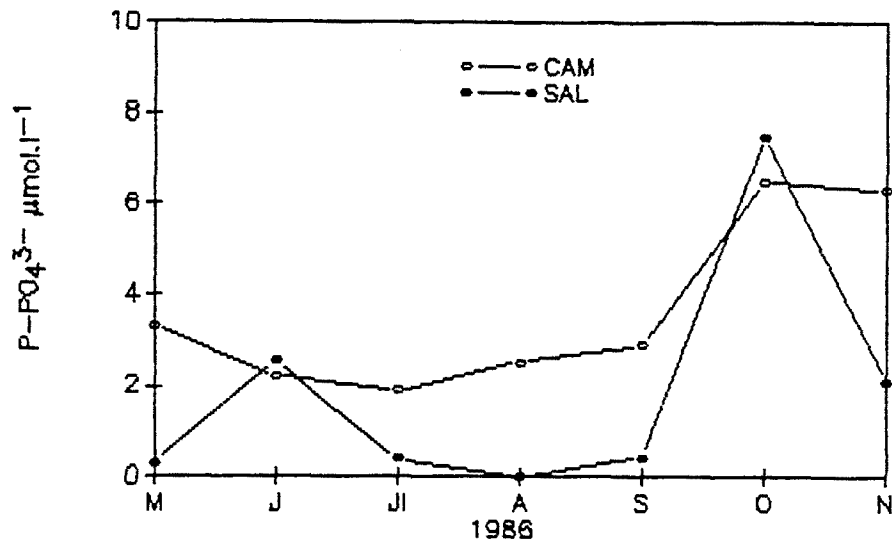


Fig. 34 : Variació anual de la concentració d'ortofosfat als principals canals de reg.

Estació	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	màxim	mínim
XER	4.36±0.34	9.61	1.97
TOR	4.25±0.35	6.71	1.93
AMS	4.35±0.36	8.69	1.67
AMF	5.99±0.88	16.59	0.95
DES	3.42±0.27	5.94	1.05
DEF	3.42±0.60	12.02	0.42

Taula V : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de fosfats ($\mu\text{mol.l}^{-1}$) per les estacions del riu.

a ser màximes, de l'ordre de $10-16\mu\text{M}$. La degradació microbiana de la matèria orgànica acumulada en el fons és el principal procés de consum d'oxigen i alhora la difusió de fòsfor, ferro i manganès s'incrementa ràpidament cap a la columna d'aigua (WETZEL, 1983). Processos químics similars han estat descrits per FOX et al. (1986) en l'estuari de l'Amazones o per MEYBECK et al. (1988) en el Loira; i com un procés normal en llacs eutròfics amb estratificació a l'estiu (WETZEL, 1983).

A la desembocadura les variacions en la concentració de fòsfor inorgànic soluble al fons estarien més lligades a l'hidrodinamisme de l'aigua de mar que evitaria els períodes d'anòxia (com hem vist al capítol de l'oxigen) i per tant l'alliberament de fòsfor del sediment cap a l'aigua.

La concentració d'ortofosfat als canals

La concentració de fòsfor inorgànic dissolt als canals de reg té un comportament diferent al llarg del cicle (fig. 34), mentre que disminueix al principi i al mig del període en què aquells resten oberts, destaquen dos pics al juny i octubre amb concentracions superiors a les que el canal principal aporta.

Les concentracions d'entrada a les llacunes són sempre superiors a les sortides i són més importants a la Tancada ($\bar{x}=3.95\pm 1.75\mu\text{M}$) que a l'Encanyissada ($\bar{x}=2.2\pm 0.79$). Les sortides rarament superen $1\mu\text{M}$. De nou a l'entrada de la Tancada es repeteixen els pics de juny i octubre.

2.3. VARIACIONS TEMPORALS DE LA CONCENTRACIÓ DEL MATERIAL PARTICULAT

2.3.1. SÒLIDS EN SUSPENSÍO

El material que queda retingut en un filtre de $0.45\mu\text{m}$, després d'una filtració al buit i d'haver perdut l'excés d'aigua en secar-se a l'estufa a 60°C , és una mesura dels sòlids en suspensió que té l'aigua. L'origen d'aquest material és divers, ja que tant pot ser material inorgànic que procedeix del rentat i de l'erosió de la conca com partícules orgàniques (organismes arrossegats, restes de fulles, etc.) i també material aportat per l'activitat humana.

El transport del material en suspensió respon a canvis en la descàrrega del riu, a

factors biològics que tenen lloc dintre del riu i a la disponibilitat de sediments al llarg del seu trajecte (BESCHTA, 1981). El transport de sòlids no està controlat pel cabal del riu sinó per característiques associades al flux com la velocitat, l'estrès erosiu o altres que poden variar en un tram de riu amb cabals constants. Tot i així es fan servir relacions senzilles per explicar la variació de la concentració de sòlids en suspensió amb el cabal (RICHARDS, 1982). Anàlisis de la concentració de sòlids en suspensió transportats pel riu indiquen una dependència d'altres variables que no pas la mitjana del cabal i les seves variacions al llarg de l'any. Aquestes variables poden ser la intensitat de les pluges, efectes estacionals, la localització de les fonts de sòlids respecte al punt de mostreig, afluent amb característiques hidrològiques diferents (PICKUP, 1986), etc. Cabals similars en diferents moments poden estar associats a diferents concentracions de sòlids en suspensió. Tampoc hi ha una distribució uniforme a través del canal ni en profunditat del transport de material en suspensió (RICHARDS, 1982), per això es requereixen mostreigs verticals i/o integrats per fer una bona avaluació del transport de sòlids en un riu gran.

En aquest estudi hem separat el material en suspensió en diferents fraccions, seguint el model iniciat en altres estudis sobre el procés de la matèria orgànica en els rius (FISHER i LIKENS, 1973; FISHER, 1977; MINSHALL et al., 1983). Partícules de mida diferent es comporten també diferent en el transport (RICHARDS, 1982); el material groller està més relacionat amb les variacions de cabal que no pas les partícules fines.

La separació en fraccions del material en suspensió i la separació entre material dissolt i particulat és purament operacional segons la mida del filtre utilitzat, i en molts estudis s'utilitzen filtres entre 0.4 i $1\mu\text{m}$. El material particulat, en el nostre cas, és la part que queda retinguda en un filtre de fibra de vidre de $0.45\mu\text{m}$ de porus, però els limnòlegs, a més, separen aquest material particulat en ultrafí, fi i groller, denominats amb les sigles en anglès UFPM, FPM i CPM respectivament. El material particulat ultrafí és el que va de $0.45\mu\text{m}$ a $50\mu\text{m}$, el fi és el que mesura entre els $50\mu\text{m}$ i 1 mm, i el material particulat groller és el més gran d'1 mm. La metodologia ha estat explicada al primer capítol.

A la part baixa de l'Ebre la concentració total de sòlids en suspensió varia entre 4.2 i $142\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ i augmenta normalment cap al fons, però no aigües avall (fig. 35). La concentració mitjana de totes les estacions de superfície és molt similar (taula VI).

No existeix una correlació significativa entre el material en suspensió i el cabal (taula VII), però s'observen màxims molt clars quan el cabal és molt alt (maig, 1986 i abril 1987). Això significa que a cabals excepcionalment alts el riu arrossega molt material, principalment inorgànic, que procedeix de l'erosió de les vores del riu. Quan el cabal és baix o més o menys constant, la relació no és tan clara i depèn d'altres factors com l'estacionalitat, per exemple més producció de fitoplàncton a l'estiu, la disponibilitat de material per arrossegar (BESCHSTA, 1981) i en el nostre cas la

Estació	Fracció Ultrafina			Fracció Fina			Fracció Grollera		
	$\bar{x} \pm SEM$	max.	min.	$\bar{x} \pm SEM$	max.	min.	$\bar{x} \pm SEM$	max.	min.
XER	15.46±1.78	44.5	4.2	0.58±0.09	1.63	0.1	0.025±0.005	0.09	0.0005
TOR	13.11±1.24	28.0	6.8	0.48±0.08	1.06	0.01	0.012±0.003	0.04	0.0003
AMS	14.33±1.52	42.3	6.1	0.27±0.07	1.54	0.01	0.009±0.004	0.10	0
AMF	32.23±5.98	116.8	4.9						
DES	15.50±1.96	55.1	5.6	0.11±0.05	1.20	0.002	0.0004±0.0003	0.004	0
DEF	42.12±6.0	142.0	9.6						

Taula VI : Valors mitjans, mínims i màxims del material en suspensió (mg.l⁻¹) de les fraccions ultrafina (<50 m), fina (>50 m, <1mm) i grollera (>1mm), per les estacions del riu.

ESTACIÓ	data	n	r ²	Sig.	FONT
SASTAGO	1972-1985	120	0.2855	***	DGOH
TORTOSA	"	122	0.1505	***	DGOH
XERTA	1986-1987	22	0.0909	NS	AQUEST ESTUDI
TORTOSA	"	18	0.0945	NS	"
AMPOSTA	"	22	0.1015	NS	"
DESEMB.	"	22	0.2008	NS	"

Taula VII : Correlacions entre el material en suspensió i el cabal. SASTAGO= estació a 40 km aigües amunt dels embassaments. *p <0.0001.

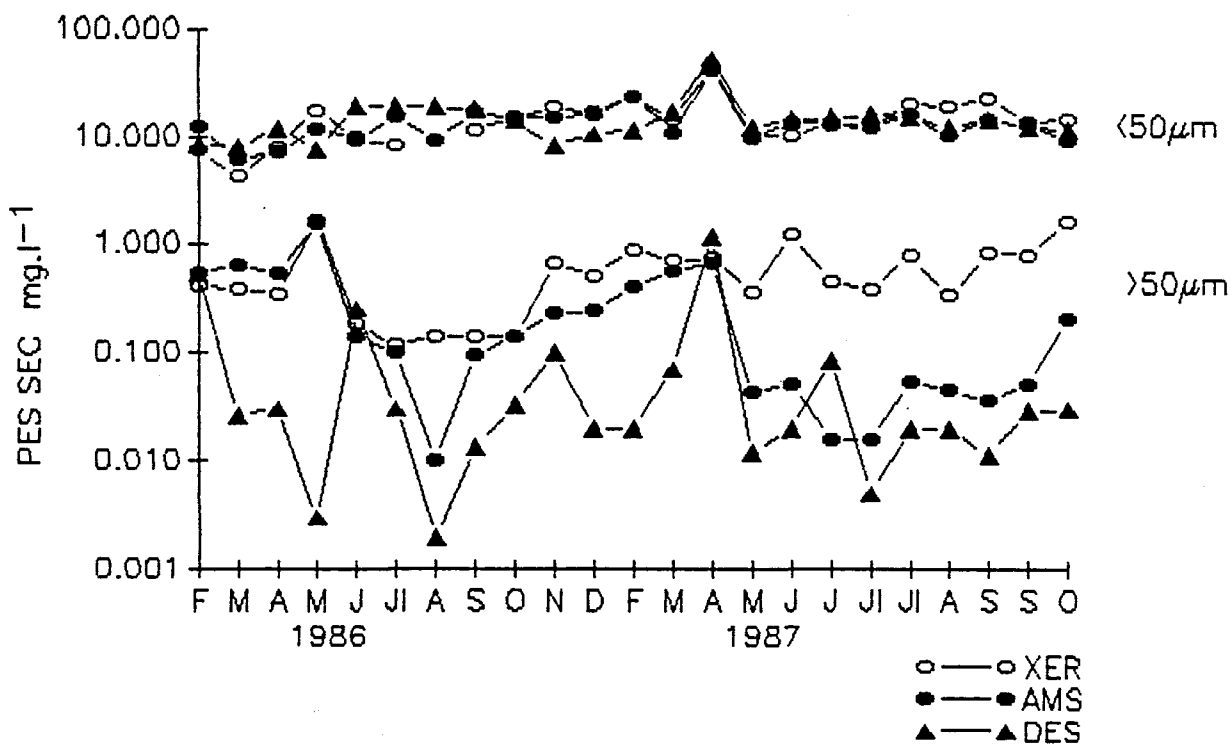


Fig. 35 : Variació anual de la concentració de material en suspensió ultrafi ($<50\mu\text{m}$) i fi+groller ($>50\mu\text{m}$) en les diferents estacions de superfície del riu.

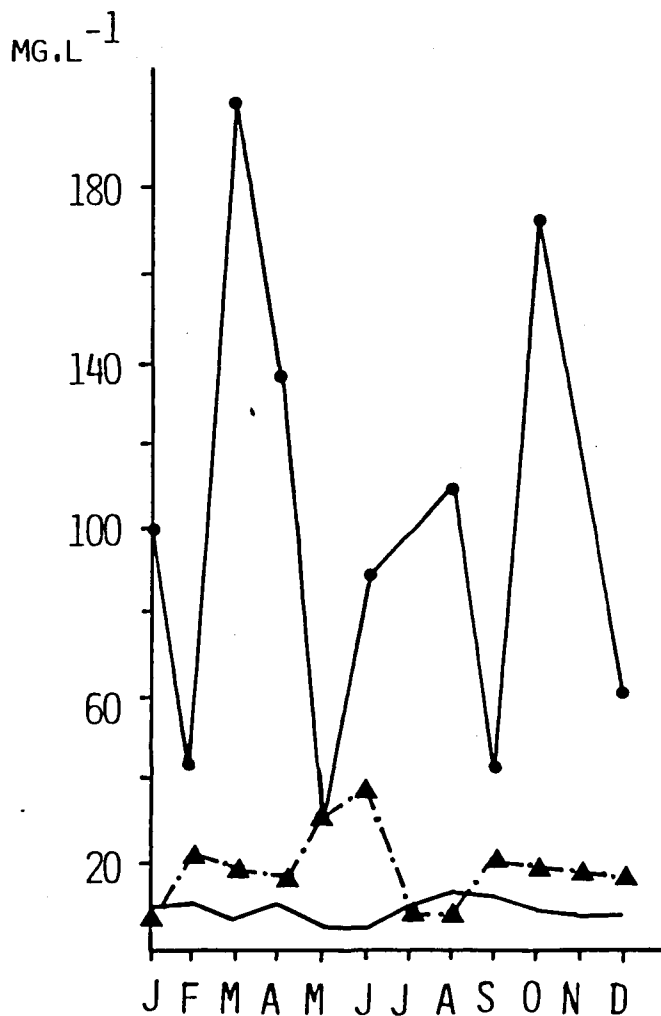


Fig. 36 : Concentració mitjana mensual del material en suspensió a Tortosa: (●—●) 1961-1963 (abans de la construcció dels embassaments). (—▲—▲) 1972-1980. (——) 1980-1987.

presència d'embassaments, segons el tipus d'aigua que aquests deixin anar, ja sigui de superfície amb poca concentració de sòlids en suspensió o de fons amb una concentració més alta per efecte de la sedimentació.

La correlació entre el cabal i el material en suspensió és significativa ($p < 0.0001$) quan fem servir una llarga llista de valors (1972-1985 MOP) i és més alta a la part del riu aigües amunt dels embassaments (estació de Sástago, SAS a 40 km de Mequinensa) que a l'estació de Tortosa. Pics importants de cabal en alguns dels anys amb un considerable transport de material en suspensió pot explicar aquesta relació, però per la majoria dels anys o per anys secs, com és el nostre cas, és difícil trobar una correlació entre el cabal i el material en suspensió. La relació utilitzada ha estat una relació lineal senzilla, potser una relació exponencial del tipus: $c = a Q - b$ (MULLER i FOSTNER, 1968) on c = concentració de sòlids en suspensió; Q = descàrrega; a i b = constants que varien segons el riu, podria ser més adequada, encara que hi ha autors (RICHARDS, 1982) que creuen que aquestes relacions haurien de ser multivariants.

Un altre efecte conegut dels embassaments és el de la retenció de sediments que transporta el riu. Aquest procés ha reduït el transport total de sediments cap al mar de molts rius del món. En el cas de l'Ebre, dades recollides des de l'any 1961 (GOMIS i CATALAN, 1966; MALDONADO, 1977; MOP, 72-85) mostren com s'ha reduït (fig. 36) la concentració de sòlids en suspensió des de la construcció dels embassaments (Mequinensa, Riba-roja i Flix). Aquesta reducció ha estat aproximadament del 80 % en valors mitjans des de els anys 1961 al 1987.

L'estació d'Amposta (fig. 37a, taula VI) en el fons presenta uns valors lleugerament superiors als de la superfície, menys a les èpoques amb presència de falca salina, on la concentració al fons és màxima. El mateix succeeix a l'estació de l'illa de Gràcia on la concentració de sòlids en suspensió passa de 15 mg.l^{-1} a més de 80 mg.l^{-1} quan hi ha aigua salada al fons (fig. 38a).

Si observem l'estació de la desembocadura també en les aigües de fons (fig. 37b), aquesta acumulació no és tan marcada i els pics oscil·len al llarg de tota l'època de cabals baixos. A l'abril de 1987 aquesta concentració és màxima a causa de l'increment de cabal, cosa que no succeïa en el cas de la pujada de cabal del maig de 1986.

Les màximes concentracions en el fons es deuen principalment a l'acumulació de material inorgànic (aproximadament el 80 % dels sòlids totals) que resulta de dos processos: a) la sedimentació de les partícules que hi ha a la superfície, b) la resuspensió hidrodinàmica de la porció més fina dels sediments del fons. El primer procés, la sedimentació, està afavorit per la inèrcia mecànica de la capa d'aigua salada que frena la capa fluvial (PAUC, 1987) amb la consegüent deposició del material en suspensió que porta el riu. Aquesta acumulació es fa també evident quan agafem material a la interfase entre les dues capes d'aigua (fig. 38a). La diferència de densitats provoca un canvi en la

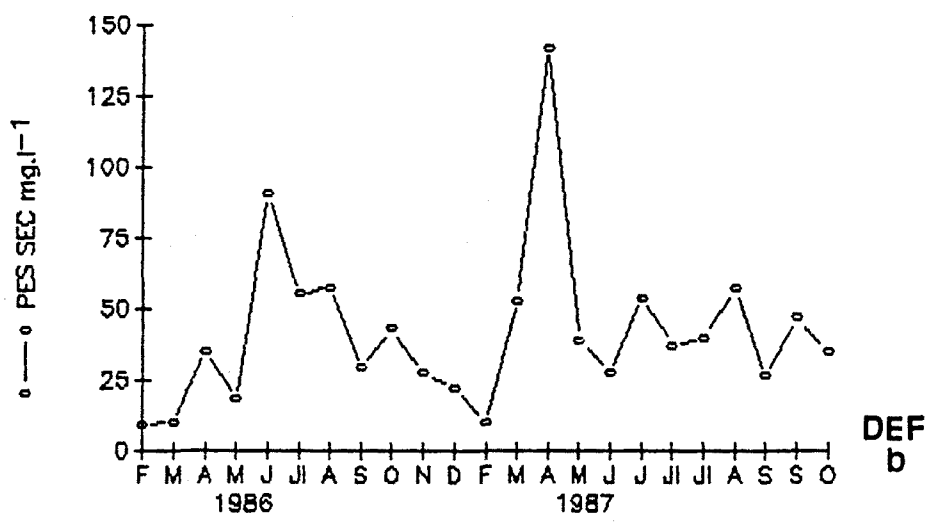
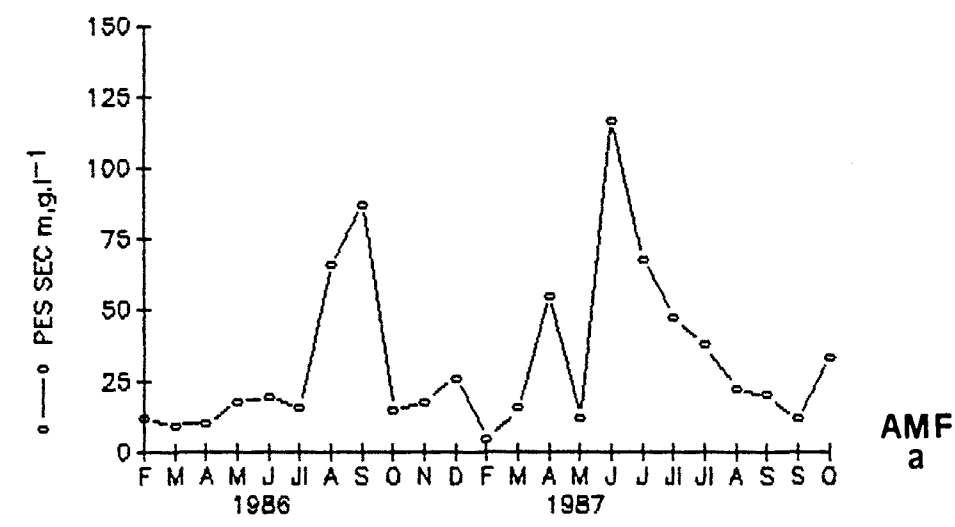


Fig. 37 : Variació anual de la concentració total de material en suspensió en les estacions de fons del riu: a) Amposta fons; b) desembocadura fons.

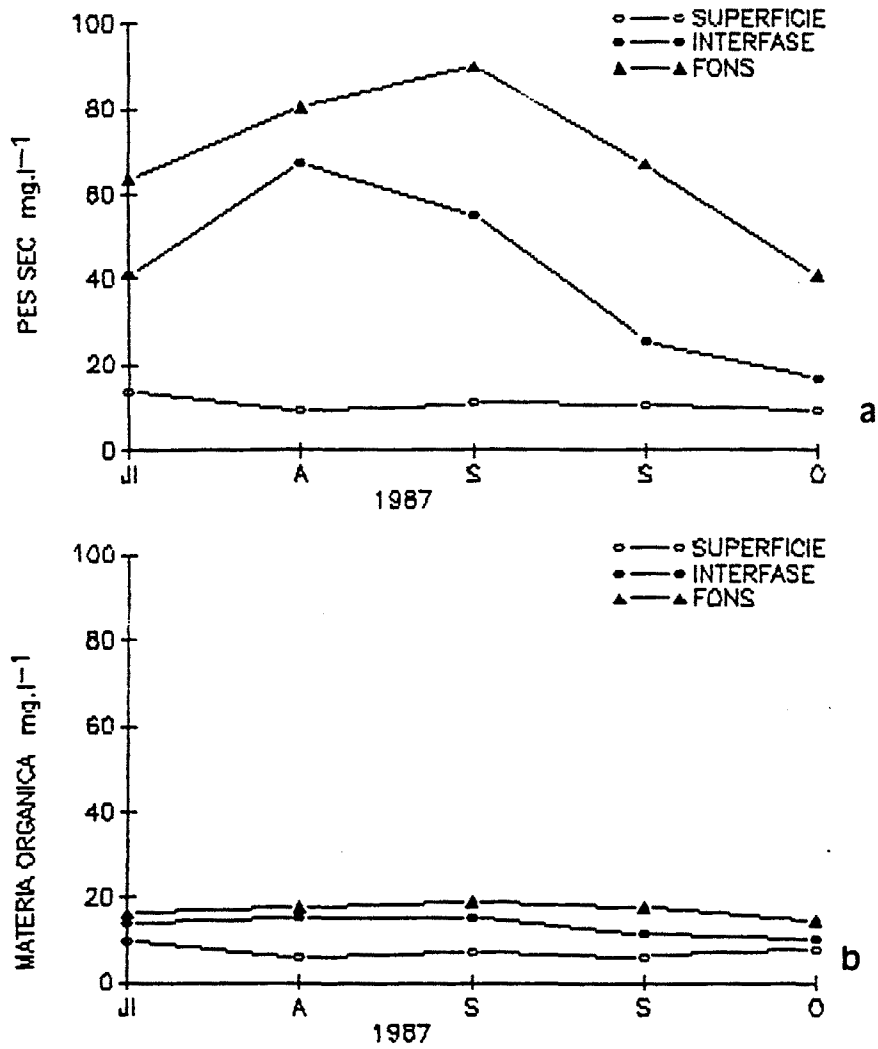


Fig. 38 : Variació anual i distribució vertical de: a) el material en suspensió; b) la matèria orgànica; a l'estació de l'illa de Gràcia amb falca salina.

velocitat de sedimentació de les partícules.

Processos similars es troben al delta del Po (BOLDRIN i RABATTI, 1986), del Danubi (SPATARU et al., 1969) o del Mazafran, a Algèria (PAUC, 1987); i és un fenomen descrit a molts estuaris, al del Loira (RINCE et al., 1985; SALIOT et al., 1984), a l'estuari del Choptank, Maryland, EEUU, (WARD i TWILLEY, 1986), al riu Sacramento a la badia de San Francisco, EEUU, (NICHOLS et al., 1986), al riu Tamar, Anglaterra, (MORRIS et al., 1982), al Rin i Mosa (PEELEN, 1967; 1970; 1974), etc.

El material en suspensió disminueix en concentració a mesura que augmenta la mida de les partícules. La suma del material fi i groller és d'un 4 i 3 % del material total a les estacions de Xerta i Tortosa, respectivament. Això vol dir que el 95-96 % està compost per partícules molt fines menors de $50\mu\text{m}$ (fig. 35, taula VI). La quantitat de material particulat fi i groller decreix aigües avall, i arriba a ser indetectable en el cas del material groller a les estacions d'Amposta i a la desembocadura la majoria dels mesos mostrejats. En aquestes estacions el material ultrafí és sempre superior al 99 %.

Alguns pics són de difícil explicació, com el que presenta l'estació de la desembocadura a l'abril de 1987. La proporció important de matèria orgànica en aquest moment (90 %) fa sospitar que es va mostrejar detritus vegetals, que molts cops el riu transportava procedents de les vores del riu o dels camps de conreu situats a la vora del riu. Aquests màxims es diferencien dels que són causa d'un augment en el cabal on la proporció de matèria orgànica és molt baixa.

La concentració de sòlids en suspensió als canals

En els canals de reg la concentració de material en suspensió total s'incrementa des del canal principal ($\bar{x}= 13.9\pm 2.2 \text{ mg.l}^{-1}$) fins a la sortida cap a les badies a través de la sèquia de l'Ala ($\bar{x}= 70.9\pm 16.9$). També la concentració és superior en els canals d'entrada a les llacunes (taula VIII). Aquesta concentració augmenta encara més a la sortida de les llacunes. Però aquest increment és degut principalment a material ultrafí, ja que el fi i groller disminueixen respecte a les entrades (taula VIII). Així les llacunes es comporten com a exportadores de material més petit de 50 μm i com a "trampa" de sedimentació per al material de mida superior.

En general el material ultrafí és superior al 90 % en quasi tots els canals (fig. 39 a, b). Al canal d'entrada de la Tancada les proporcions s'inverteixen i alguns mesos (Fig. 39 b) el material groller pot ser molt important i superior a les altres fraccions. Si observem la concentració del material groller al mes de juliol a l'entrada de la Tancada (188.6 mg.l^{-1}), supera la concentració de material fi i ultrafí (81.11 mg.l^{-1}). Això demostra que molts cops una metodologia concreta pot infravalorar les concentracions reals. La concentració de material en suspensió total es fa moltes vegades només amb la

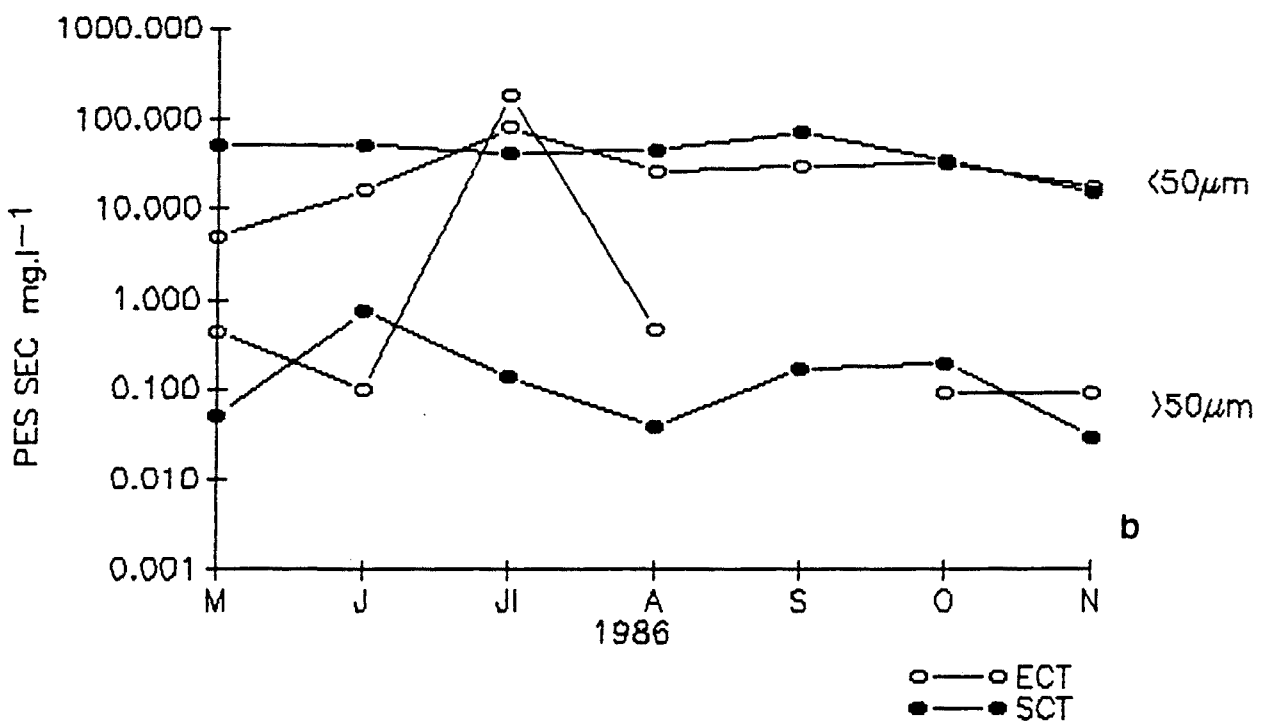
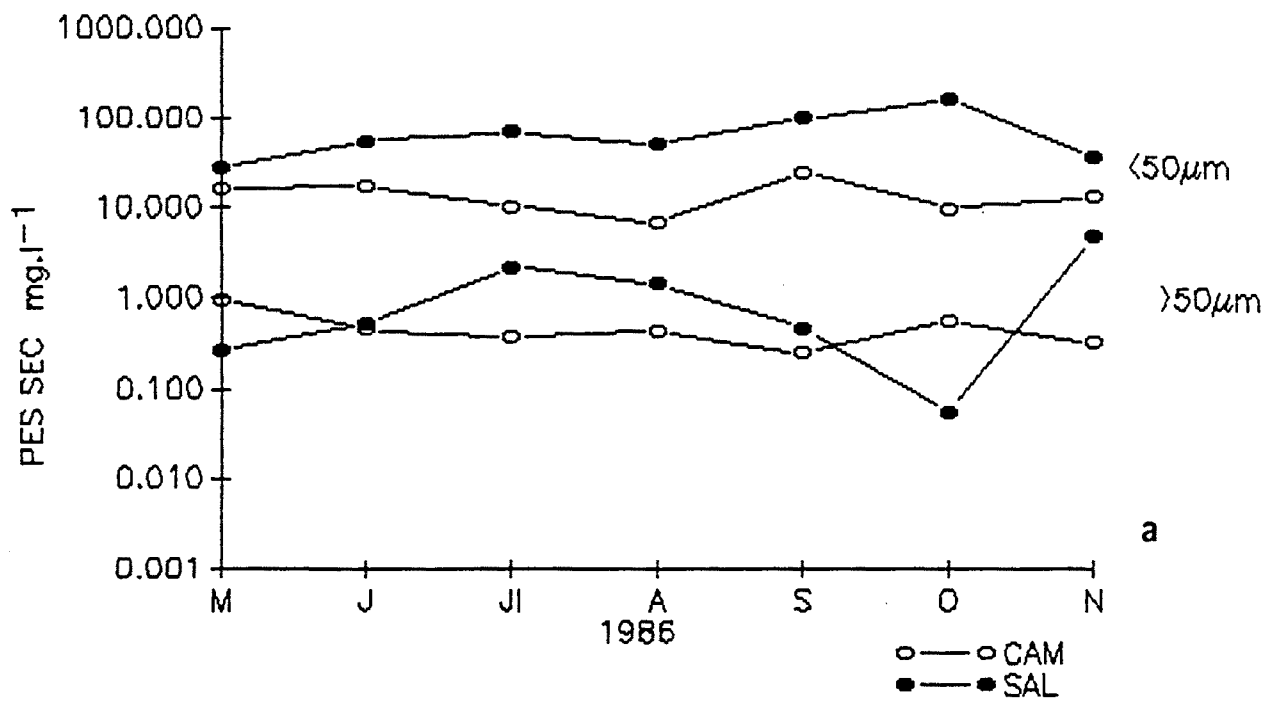


Fig. 39 : Variació anual de la concentració de material en suspensió ultrafi (<50µm) i fi+groller (>50µm): a) en el canal d'Amposta (CAM) i la sèquia de l'Ala (SAL); b) en el canal d'entrada (ECT) i sortida (SCT) de la Tancada.

filtració amb un filtre de 0.4-0.7 μm de 0.5-1 litres d'aigua, el material fi i el groller es recullen amb una xarxa que filtra més de 10000 l i per tant és una mostra més representativa. Aquest problema pot ser més important quan mostregem sistemes rics en material groller com capçales de rius, canals, etc. En el nostre cas aquest material és majoritàriament restes de vegetació que creix a les vores del canal després d'una neteja, o de *blooms* d'algues cianofícies, que són freqüents en aquests sistemes i són arrossegades per l'aigua.

2.3.2. MATÈRIA ORGÀNICA

La matèria orgànica es presenta dins l'aigua en diverses formes i estats, però les limitacions metodològiques de separació i quantificació fan que, en la majoria de treballs, sigui classificada com a matèria orgànica dissolta (DOM) i matèria orgànica particulada (POM).

La matèria orgànica dissolta és exudada pels productors primaris, excretada pels consumidors o procedent de cèl·lules trencades per hidròlisi per la descomposició microbiana. La matèria orgànica particulada consisteix en algues planctòniques o d'altres tipus, zooplàncton, incloent ous i larves, en els grups més grans d'agregats de bacteris, els restes d'organismes i els seus "pellets" fecals, en matèria orgànica d'origen terrigen o eòlic i en matèria orgànica en sol·lució que ha precipitat o ha format agregats.

Els rius, des de les capçales fins a la desembocadura, importen, produeixen, processen i emmagatzemen matèria orgànica (HYNES, 1970; WHITTON, 1975). La via de descomposició de la matèria orgànica fins a components inorgànics ha estat caracteritzada com un procés al llarg d'un contínuum (VANOTTE et al., 1980) que opera a través d'una espiral de dalt a baix del riu (NEWBOLD et al., 1981a, 1981b; 1982a, 1982b). Una petita quantitat d'aquesta matèria orgànica arriba aigües avall o es queda a la conca sense sofrir alteracions; la major part sofreix per via biològica, física o química transformacions importants.

Generalment la matèria orgànica particulada i dissolta són estimades pel seu contingut en C tenint llavors carboni orgànic dissolt (DOC) i carboni orgànic particulat (POC).

2.3.2.1. Matèria orgànica particulada (POM)

Com una part del material particulat total que transporta el riu aigües avall hem determinat la concentració de la matèria orgànica particulada per diferència entre el

Estació	Fracció Ultrafina			Fracció Fina			Fracció Grollera		
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.
CAM	13.90± 2.18	24.0	6.7	0.33±0.08	0.78	0.13	0.15±0.02	0.22	0.05
SAL	70.90±16.87	157.3	27.4	0.72±0.62	4.44	0.02	0.67±0.30	2.14	0.006
ECE	32.48±10.26	90.9	11.0	0.61±0.54	3.84	0.01	2.34±1.53	8.99	0.01
SCE	55.35± 6.53	77.5	33.1	0.19±0.08	0.63	0.01	1.16±1.15	8.04	0.001
ECT	29.98± 9.24	81.1	5.0	0.22±0.13	0.85	0.03	37.86±37.68	188.60	0.06
SCT	45.06± 6.53	72.5	15.8	0.16±0.09	0.69	0.01	0.04±0.02	0.13	0.001

Taula VIII : Valors mitjans, mínims i màxims del material en suspensió (mg.l^{-1}) de les fraccions ultrafina ($<50\mu\text{m}$), fina ($>50\mu\text{m}$, $<1\text{mm}$) i grollera ($>1\text{mm}$), per els canals de reg.

Estació	Fracció Ultrafina			Fracció Fina			Fracció Grollera		
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.
XER	7.02±0.48	12.3	2.4	0.08±0.01	0.26	0.02	0.018±0.004	0.08	0.0002
TOR	7.17±0.40	10.0	4.3	0.05±0.008	0.12	0.001	0.008±0.002	0.003	0.00003
ANS	7.32±0.40	12.0	2.4	0.044±0.009	0.21	0.002	0.007±0.004	0.10	0
ANF	10.40±0.94	19.6	3.7						
DES	7.94±0.54	14.9	3.4	0.02±0.006	0.13	0.0002	0.0003±0.0002	0.004	0
DEF	10.36±0.92	22.0	4.0						

Taula IX : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de la matèria orgànica (mg.l^{-1}) de les fraccions ultrafina ($<50\mu\text{m}$), fina ($>50\mu\text{m}$, $<1\text{mm}$) i grollera ($>1\text{mm}$), per les estacions del riu.

Estació	Fracció Ultrafina			Fracció Fina			Fracció Grollera		
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.
CAM	6.94±0.45	8.4	5.1	0.05±0.01	0.10	0.03	0.10±0.02	0.21	0.03
SAL	18.55±3.09	35.3	11.2	0.16±0.14	0.97	0.01	0.50±0.27	1.89	0.004
ECE	13.25±2.12	24.8	7.8	0.12±0.09	0.62	0.003	1.23±0.74	3.91	0.008
SCE	18.34±2.68	31.6	10.3	0.10±0.05	0.37	0.005	0.57±0.56	3.93	0.001
ECT	14.02±3.94	31.7	3.1	0.08±0.05	0.35	0.01	21.08±20.87	104.57	0.05
SCT	13.43±1.42	19.7	7.4	0.04±0.02	0.14	0.001	0.03±0.01	0.11	0.001

Taula X : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de la matèria orgànica (mg.l^{-1}) de les fraccions ultrafina ($<50\mu\text{m}$), fina ($>50\mu\text{m}$, $<1\text{mm}$) i grollera ($>1\text{mm}$), per els canals de reg.

material particulat total i l'inorgànic després d'una calcinació a 450 °C, és a dir, aquesta matèria orgànica és el pes sec lliure de cendres.

La seva evolució al llarg del temps i l'espai en la part baixa de l'Ebre segueix un comportament diferent segons la fracció que tractem. La concentració mitjana a totes les estacions de superfície és molt similar (taula IX) i varia entre els 6.08 mg.l⁻¹ de l'estació de Xerta als 7.4 de l'estació de la desembocadura. L'error de la mitjana és també molt baix, això representa poques variacions importants respecte a la mitjana. La concentració de matèria orgànica representa entre el 48 i el 55 % de la concentració del material en suspensió total segons les estacions. Aquest percentatge és fa més gran aigües avall per la proporció més important de matèria orgànica d'origen fitoplanctònic, i disminueix a valors de 28 % quan el pic de material en suspensió es deu a un increment en el cabal, com en el cas de l'abril de 1987 quan el material inorgànic és més important.

Aproximadament el 71 % de la concentració de MO que hem trobat és en la fracció ultrafina (0.45-50 µm). NAIMAN i SEDELL (1979) suggereixen que l'abundància d'aquesta fracció respecte d'altres es deu al fet que és regenerada constantment i ràpidament, ja que es pot generar del trencament de la CPOM i FPOM i també de la flocculació de la DOM. A més aquesta fracció es troba fàcilment en suspensió, i a causa de la seva mida, està menys influïda pel substrat o per efectes de retenció (SEDELL et al.1978).

El "River Continuum Concept" (VANNOTE et al., 1980) proposa que, a causa d'un procés biològic i físic de la matèria orgànica al llarg del gradient del riu, la quantitat de matèria orgànica en la fracció grollera decreixeria progressivament aigües avall mentre que les fraccions més petites augmentarien. A més, en els rius d'ordre més alt l'increment de la profunditat i de la concentració de la matèria en suspensió extingiria la radiació solar cap al fons i les comunitats bentòniques del perifiton disminuirien en favor de les planctòniques.

El percentatge de la matèria orgànica respecte al material en suspensió total és diferent segons la mida de les partícules, així la matèria orgànica és aproximadament del 50 % a les estacions de superfície en la part ultrafina. La fracció fina (FPOM) supera generalment el 20% del material total i en la fracció grollera la proporció és de més de 90 %.

En la part baixa de l'Ebre la concentració de matèria orgànica total és molt similar al llarg de tota la zona estudiada (taula IX). La concentració de CPOM és pràcticament indetectable al llarg de tot l'any a les estacions més estuarines del riu. Màxims ocasionals són deguts a l'acumulació de material vegetal procedent de les vores del riu. En aquests màxims la concentració de matèria orgànica és gairebé del 100 % respecte a la concentració de material en suspensió total.

Fins ara hem tractat les estacions de superfície però no hem parlat de què passa en

l'eix vertical. La concentració de matèria orgànica és més alta al fons que a la superfície amb una mitjana de 10.4 ± 0.94 per l'estació d'Amposta i de 10.36 ± 0.92 per la desembocadura (taula IX). Les concentracions varien molt poc al llarg de tot el cicle anual però hi ha un increment al fons respecte a la concentració de superfície, i a la interfase també hi ha una certa acumulació (fig. 38b).

La matèria orgànica als canals

A l'igual que amb el material en suspensió, la concentració de matèria orgànica s'incrementa des del canal d'Amposta a la sortida cap a les badies pel canal de la sèquia de l'Ala (taula X). Les diferències entre els canals d'entrada i sortida de les llacunes no són tan importants com en el cas del material en suspensió total, el transport de matèria orgànica des dels canals de les llacunes és similar al que arriba a les llacunes des dels camps de conreu.

La fracció més abundant de la matèria orgànica que circula a través del sistema és la ultrafina, excepte en el cas del canal d'entrada a la Tancada on de nou s'observen concentracions elevades de la fracció grollera alguns mesos.

2.3.2.2. Carboni orgànic dissolt (DOC)

El DOC dels rius varia amb la mida del riu que es pot expressar per l'ordre, amb el clima, amb la vegetació de la conca i amb l'estació de l'any. La concentració del DOC en els rius pot tenir dos orígens: origen al·lòcton o carboni que ve del sòl de la conca o de fora del sistema aquàtic, i d'origen autòcton, el que s'ha format en el mateix riu. El DOC que ve del sòl té un temps de descomposició molt més llarg que el que procedeix de teixits vegetals. Aquestes fonts formen la major part dels inputs de DOC en rius petits o mitjans. A mesura que el riu es fa més gran el material al·lòcton decreix i les fonts autòctones s'incrementen. Generalment la combinació de la producció primària i la descomposició controlen la concentració de DOC a l'aigua.

Pèptids, polisacàrids i substàncies húmiques són els principals components del DOC transportats pels rius. Els bacteris són els metabolitzadors més importants del DOC i especialment dels polímers d'origen biològic, per això les substàncies húmiques poden arribar a constituir el 90 % del DOC (KENNISH, 1986).

A la part baixa de l'Ebre tenim només dades de la concentració del DOC de dos mesos, l'abril i el setembre de 1988, dates que corresponen a màxims ($1100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) i mínims ($200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) de cabal per aquell any. La dificultat de realitzar aquesta anàlisi no ens va permetre seguir l'evolució al llarg del període d'estudi 86-87. Les concentracions obtingudes van ser mesurades amb un analitzador automàtic de TOC, que ens van

permetre utilitzar a la Societat General d'Aigües de Barcelona. Les dades ens donen una concentració orientativa de l'ordre de magnitud del DOC que l'Ebre transporta cap el mar.

Els valors oscil·len (taula XI) entre els 0.5 mg.l⁻¹ trobats al setembre en fondària i amb presència de falca salina, fins als 6.3-6.5 a l'abril amb màxims de cabal (1100 m³.s⁻¹).

S'observa un clar increment de la concentració amb la descàrrega del riu. Aquest pot ser degut a les aportacions del sòl o potser de l'aigua intersticial més rica en DOC que les aigües superficials (THURMAN, 1986).

Amb presència de falca salina la concentració del DOC en el fons és molt baixa. En els estuaris és comú que en la zona de contacte entre l'aigua dolça i salada la concentració del DOC disminueix per flocculació i incrementa la concentració del POC (SHOLKOVITZ, 1976; KENNISH, 1986). Aquest procés no ha estat estudiat en el cas de la part baixa de l'Ebre i les concentracions baixes també poden ser degudes a dilucions amb l'aigua de mar (MICHAELIS et al., 1986). Quan el cabal és alt i no hi ha falca (abril) la concentració en el fons és superior.

La relació entre DOC:POC és aproximadament de 4:1 i varia segons el cabal. Aquesta relació és només aproximada perquè hi ha pocs valors de DOC. Amb un cicle anual es podrien veure les diferències estacionals d'aquesta relació, més baixa a l'estiu quan la producció primària és alta i més gran amb els cabals alts de l'hivern o principis de la primavera quan la producció de POC autòctona encara no ha començat. Aquesta relació s'inverteix quan en fondària hi ha falca salina (1:2), és a dir, el material particulat és més important.

Aquestes diferències ens porten a considerar que no es pot agafar la relació DOC:POC com una constant per a un riu ni per comparar-lo amb d'altres. MÖELLER et al.(1979) fa un recull de les dades d'alguns rius nord-americans amb fisiografies diferents i les diferències en les concentracions són també evidents.

2.3.2.3. Carboni orgànic particulat (POC)

Molts rius transporten més carboni dissolt que particulat, però a mesura que un riu es fa més gran hi ha un increment en la concentració del POC, especialment de la fracció fina (0.4-50 µgr.at.l⁻¹). El tipus de vegetació, geologia i les variacions estacionals controlen el percentatge del POC en el material en suspensió, generalment per molts rius aquest percentatge és de 2 a 4 % (THURMAN, 1986).

El POC autòcton procedent majoritàriament de detritus de fitoplàncton és ric en carbohidrats i polipèptids que es degraden ràpidament; el POC al·lòcton d'origen

Estació	data	mg/l
GRA-Superfície	29-4-88	6.3
GRA-Fons	"	6.3
DES	"	5.9
DEF	"	6.5
GRA-Superfície	15-9-88	3.4
GRA-Interfase	"	0.5
GRA-Fons	"	0.5
DES	"	3.4
DEF	"	0.7

Taula XI : Concentració de carboni orgànic dissolt en el riu.

Estació	n	r ²	sig.
XER	28	0.0011	NS
TOR	19	0.0006	NS
AMS	28	0.2250	**
DES	29	0.1166	*

Taula XII : Correlació entre la concentració de carboni particulat i el cabal. *p < 0.1 **p < 0.001.

Estació	Fracció Ultrafina			Fracció Fina			Fracció Grollera		
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.
XER	132.17±10.53	216.7	58.3	5.19±0.79	15.83	0.55	0.78±0.16	2.60	0.02
TOR	123.53±10.68	215.0	45.8	3.76±0.58	7.70	0.17	0.35±0.09	1.33	0.001
AMS	132.10±10.06	257.0	65.0	2.62±0.62	13.33	0.25	0.26±0.11	1.70	0
AMF	168.18±14.45	338.3	76.7						
DES	110.00±11.94	263.3	15.8	0.87±0.28	6.70	0.03	0.001±0.0008	0.01	0
DEF	97.39±11.98	277.0	30.8						

Taula XIII : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de carboni orgànic particulat ($\mu\text{gr-at.l}^{-1}$) de les fraccions ultrafina (<50 μm), fina (>50 μm , <1mm) i grollera (>1mm), per les estacions del riu.

terrestre (sòls, plantes...), en canvi, es degrada més lentament.

En el nostre cas, tot i que la metodologia emprada quantifica el carboni particulat total hem comprovat amb un tractament previ de la mostra filtrada (MUÑOZ i RIERA, en premsa) que aquest és majoritàriament (>99 %) orgànic.

La concentració del POC es mou al llarg del riu amb moltes oscil·lacions (Fig. 40) a causa de les diferències en el transport de material particulat. Aquestes oscil·lacions disminueixen al llarg de l'estiu on també el cabal té un comportament més constant (fig. 5, 6). En general el carboni particulat s'incrementa a mesura que avança l'estiu (200-250 $\mu\text{gr-at.l}^{-1}$) per tornar a valors mínims (50 $\mu\text{gr-at.l}^{-1}$ i fins i tot 16 $\mu\text{gr-at.l}^{-1}$ al novembre de 1986 a l'estació de la desembocadura) a l'hivern. Aquest comportament determinat per la producció primària és més evident a les estacions de la part estuarina del riu.

Les correlacions entre el POC i el cabal (taula XII) ens mostren unes correlacions negatives significatives només a les estacions estuarines. Això significa que a cabals baixos, condicions d'estiu principalment, la concentració de POC augmenta en aquelles estacions on la producció autòctona és més important, justament a l'inversa del DOC.

La concentració del POC disminueix aigües avall (taula XIII), la sedimentació i el consum al llarg de la part final del riu en són la causa. La proporció del POC en mg.l^{-1} respecte al total de sòlids en suspensió (mg.l^{-1}) és del 10 % en les estacions redòfiles, del 9 % a Amposta i del 8 % a la desembocadura. En fondària aquesta proporció es fa molt més petita: 6 % a Amposta i 3 % a la desembocadura. En general, però, són proporcions relativament altes respecte a les que alguns autors (RICHEY et al., 1980) donen per a rius no tropicals (2 %).

També hi ha diferències importants amb la bibliografia en la proporció del POC respecte a la matèria orgànica. Mentre que la concentració de matèria orgànica és propera a 2.4 vegades la concentració de POC (MARGALEF, 1983), és a dir un 40 % de la matèria orgànica particulada està en forma de carboni, les nostres dades mostren que en general aquesta proporció és del 25 % (fig. 41). Aquesta diferència es deu principalment a les diferents metodologies emprades en les dues anàlisis. El mètode del pes sec lliure de cendres com expressió de la concentració de matèria orgànica particulada és molt grollera (WILLIAMS, 1985) i pot induir a errors perquè a les temperatures a què es treballa es poden perdre altres substàncies diferents de la matèria orgànica, com per exemple aigua estructural que forma part de les argiles (HUTCHINSON, 1975), de forma que les concentracions de matèria orgànica que obtenim són més altes que les reals. A fi de tenir una expressió més fiable de la concentració de matèria orgànica particulada podem considerar la concentració de POC. En aquest cas les nostres dades són comparables a les d'altres rius de característiques similars i el mètode d'anàlisi és més acurat.

La concentració de POC en fondària és diferent segons l'estació, a Amposta la

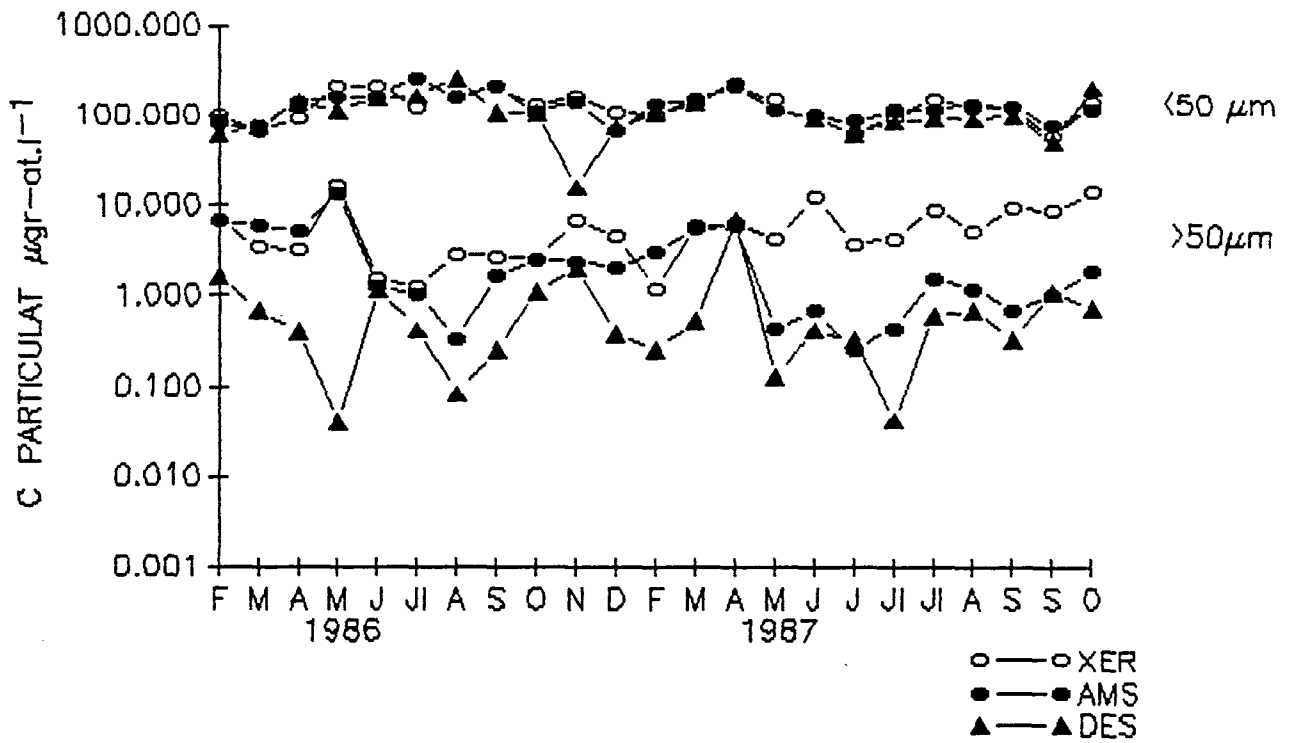


Fig. 40 : Variació anual de la concentració de carboni particulat ultrafí (<50 m) i fi+groller (>50 m) en les estacions de superfície del riu.

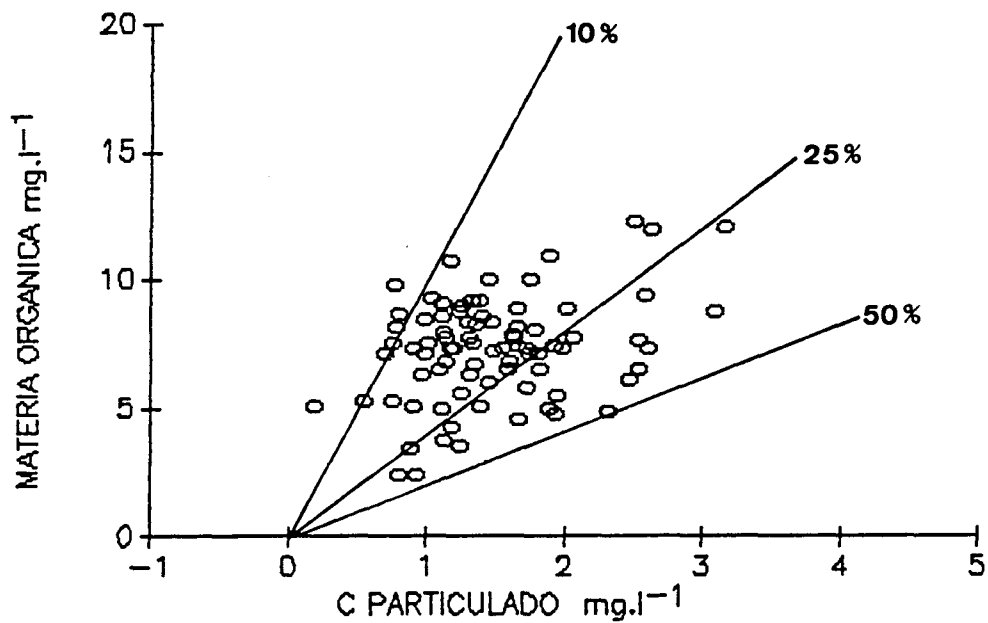


Fig. 41 : Relació entre la concentració de matèria orgànica i la concentració de carboni orgànic particulat.

concentració és sempre superior (taula XIII) als valors de superfície. Quan la falca es situa a l'illa de Gràcia (fig. 42a), la concentració de C particulat és molt similar entre superfície i fons (\bar{x} sup= 80.5; \bar{x} fons= 83.2 gr-at.l⁻¹) i només hi ha acumulació a la interfase en certs períodes. En canvi, a la desembocadura els valors de fons són sempre inferiors als de superfície (taula XIII).

El POC de les fraccions fina i grollera no superen el 3% de la concentració de C particulat total (fig. 41a), només al mes de maig de 1986 i al final de l'estiu de 1987 a les estacions de Xerta i Tortosa són del 8 %. La concentració d'aquestes fraccions disminueix també aigües avall.

El carboni particulat als canals de reg

La concentració de POC al llarg del sistema de canals (fig. 43, Taula XIV), s'incrementa des de l'entrada (CAM) cap als canals de sortida dels camps d'arròs (SAL, ECE, ECT). També hi ha diferències entre els canals d'entrada a les llacunes i les sortides. A l'Encanyissada les concentracions de sortida són molt superiors a les concentracions d'entrada. No succeeix el mateix a la Tancada (fig. 43).

Si bé al riu el percentatge de carboni particulat era majoritàriament a les fraccions més petites (ultrafina, <50 μ m), als canals el carboni particulat groller és sempre superior en valors mitjans (taula XIV) a la fracció fina.

El carboni particulat fi disminueix a través del sistema i pràcticament no hi ha diferències entre els canals de sortida i d'entrada a les llacunes. El carboni particulat groller sempre és més baix a les sortides (efecte de cubeta de sedimentació de les llacunes).

2.3.4. NITROGEN PARTICULAT

El nitrogen particulat és majoritàriament orgànic i està constituït essencialment per plàncton i sèston, per tant les concentracions de nitrogen particulat estaran molt lligades a la dinàmica de la biomassa del plàncton.

Les concentracions mitjanes entre les estacions varien entre els 14.7 μ gr-at.l⁻¹ a les estacions de Xerta i Tortosa fins als 14.9 \pm 1.3 d'Amposta i als 11.82 1.53 de la desembocadura (taula XV). Al fons hi ha una certa acumulació a Amposta (\bar{x} =17.5 \pm 1.52 μ gr-at.l⁻¹), i a la desembocadura la concentració és inferior a la resta d'estacions (\bar{x} =8.73 0.9 μ gr-at.l⁻¹). Aquest és un altre aspecte del comportament diferent de les dues

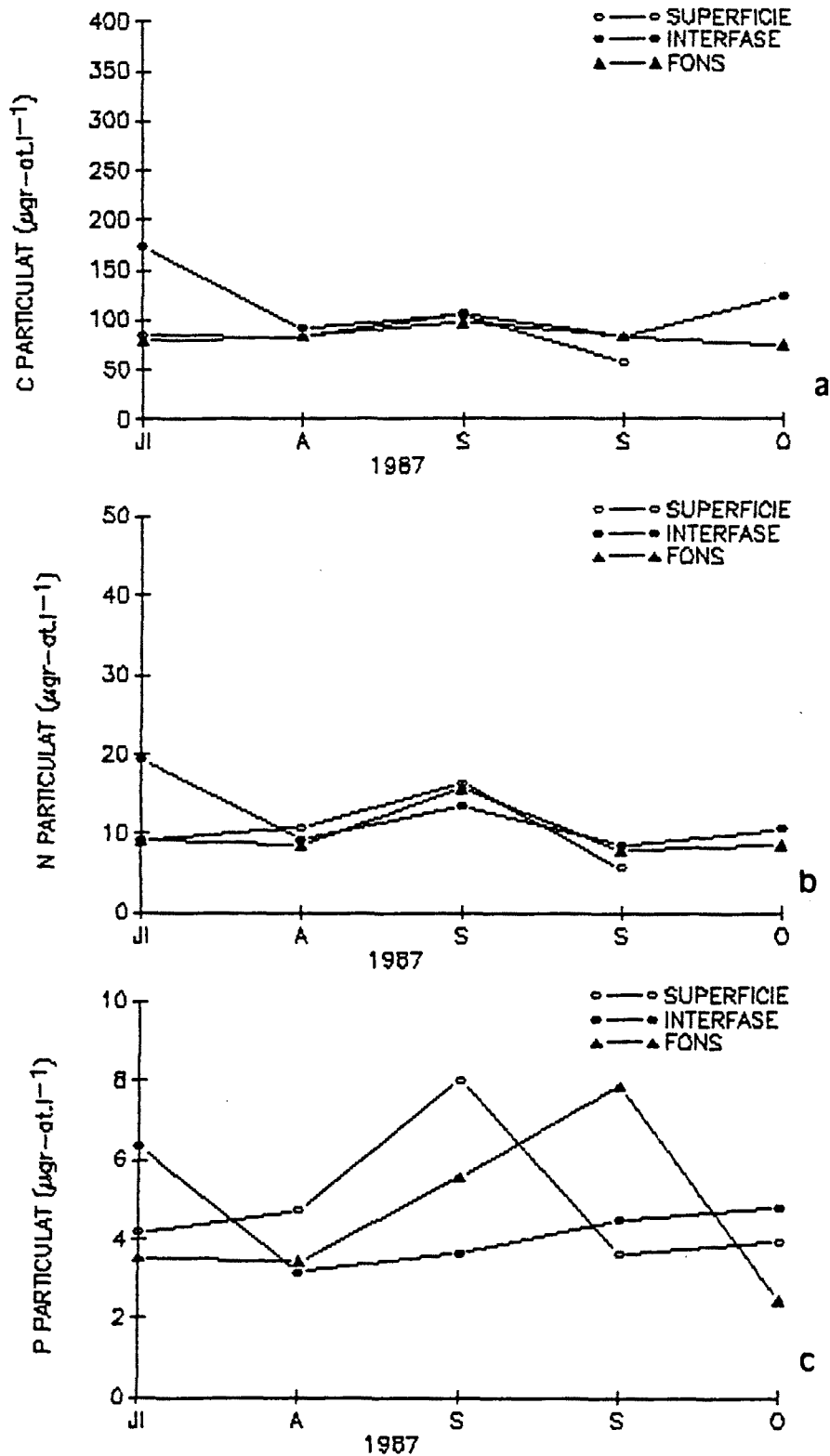


Fig. 42 : Variació anual i vertical de la concentració de: a) carboni; b) nitrogen i c) fòsfor, partícules a l'estació de l'illa de Gràcia i amb presència de falca salina.

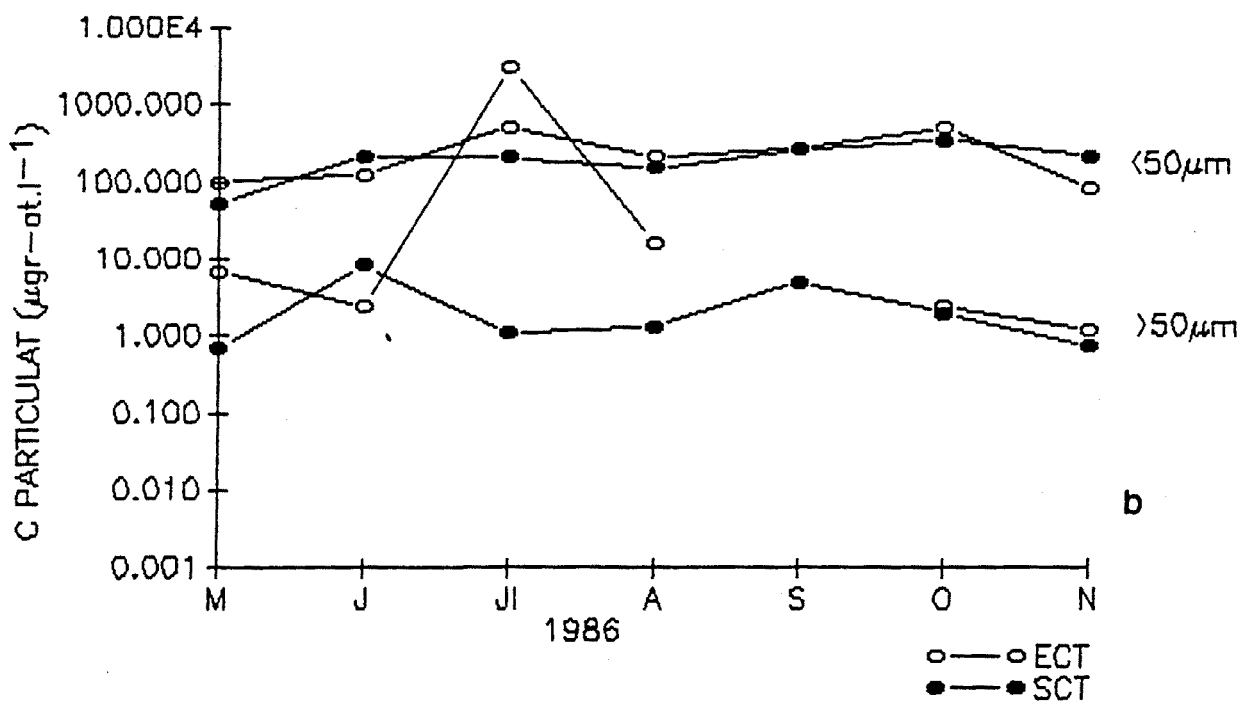
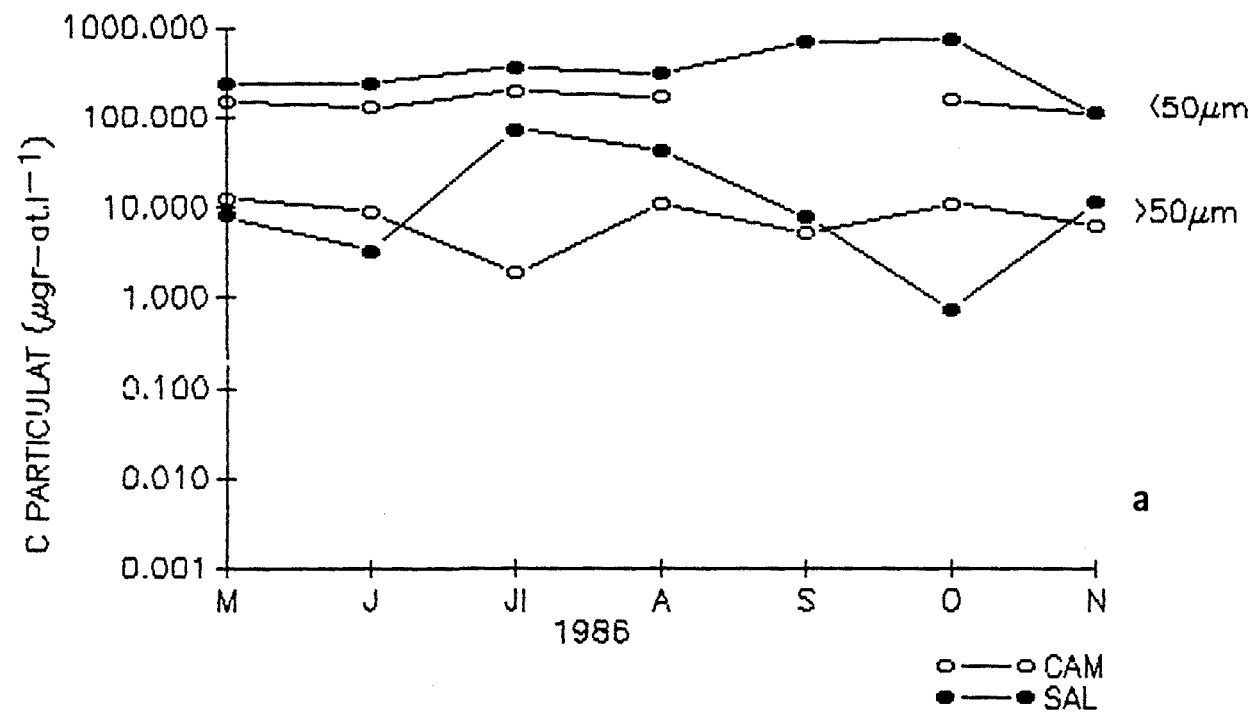


Fig. 43 : Variació anual de la concentració de carboni particulat ultrafi (<50µm) i fi+groller (>50µm) en els canals de reg: a) canal d'Amposta i sèquia de l'Ala; b) entrada i sortida de la Tancada.

Estació	Fracció Ultrafina			Fracció Fina			Fracció Grollera		
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.
CAM	154.72±13.10	201.7	112.5	3.05±0.80	6.67	0.92	5.18±0.95	8.33	0.92
SAL	393.57±94.32	763.3	113.3	1.19±0.55	3.75	0.17	20.11±10.42	73.33	0.17
ECE	179.52±15.04	130.8	237.5	4.45±3.71	26.67	0.08	62.03±40.32	238.33	0.42
SCE	369.09±72.42	745.8	149.2	2.13±0.92	5.83	0.02	35.55±34.60	208.50	0.08
ECT	259.40±68.72	517.5	85.8	1.98±0.71	4.25	0.67	613.35±607.9	3045.00	1.67
SCT	210.23±35.20	350.8	53.3	1.69±0.85	6.67	0.50	1.44±0.82	4.50	0.03

Taula XIV : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de carboni orgànic particulat ($\mu\text{gr-at.l}^{-1}$) de les fraccions ultrafina ($<50\mu\text{m}$), fina ($>50\mu\text{m}$, $<1\text{mm}$) i grollera ($>1\text{mm}$), per els canals de reg.

Estació	Fracció Ultrafina			Fracció Fina			Fracció Grollera		
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.
XER	15.29±2.10	36.4	4.4	0.39±0.06	1.43	0.09	0.06±0.014	0.24	0
TOR	14.18±1.22	22.1	5.0	0.28±0.05	0.86	0.01	0.03±0.007	0.11	0
ANS	14.86±1.27	30.7	5.7	0.22±0.04	0.80	0.03	(Fraccions fina + grollera)		
AMP	17.50±1.52	31.4	5.7						
DES	11.82±1.53	35.0	2.8	0.12±0.04	0.80	0.03	-	-	
DEF	8.73±0.91	17.9	2.9						

Taula XV : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de nitrogen orgànic particulat ($\mu\text{gr-at.l}^{-1}$) de les fraccions ultrafina ($<50\mu\text{m}$), fina ($>50\mu\text{m}$, $<1\text{mm}$) i grollera ($>1\text{mm}$), per les estacions del riu.

estacions estuarines en fondària, on la influència de l'aigua de mar és força diferent.

Al llarg del cicle anual trobem valors fluctuants des del febrer de 1986 fins al maig de 1987, i després un estiu de 1987 molt homogeni i amb concentracions més baixes respecte a l'estiu anterior.

Relacionant la concentració de nitrogen particulat amb el cabal, tenim una correlació negativa significativa de $r=-0.30$ ($p<0.01$). Així tenim que l'estiu del 87 presenta concentracions més baixes i regulars, perquè els cabals són més alts i constants.

A l'illa de Gràcia, com en el cas del C particulat, no hi ha una acumulació important de N particulat. El perfil vertical (fig. 42b) és molt similar en tot el cicle.

Respecte a les concentracions de N particulat en les diferents fraccions a les estacions de superfície trobem que, a la part reòfila del riu, el N particulat fi correspon al 2 % de la concentració de N particulat total i el groller al 0.2 %. A Amposta i a la desembocadura hem fet la suma de les dues fraccions perquè la fracció grollera era pràcticament indetectable. A Amposta aquesta fracció és un 2 % del N particulat total i a la desembocadura és d'1%, és a dir, la major part del nitrogen particulat es troba a la fracció ultrafina ($<50\mu\text{m}$). S'observen aquí també pics relacionats amb augments del cabal (maig 86, abril 87) però que mai signifiquen una concentració important respecte del total.

La concentració de nitrogen particulat als canals

El N particulat passa des d'una concentració mitjana de $23.57\pm 5.04\mu\text{gr-at.l}^{-1}$ al canal d'Amposta a 25.4 ± 3.76 a la sèquia de l'Ala amb poques diferències al llarg del període (fig. 45a, taula XVI).

En els canals que travessen les llacunes les concentracions són diferents, a l'Encanyissada la concentració de sortida ($\bar{x}=33.8\pm 5.63$) és gairebé del doble de l'entrada ($\bar{x}=18.23\pm 2.82$) en valors mitjans, encara que la major diferència es troba al juliol i a l'agost. A la Tancada les concentracions d'entrada i sortida són molt més properes (24.5 ± 6.6 a l'entrada i 22.86 ± 3.39 a la sortida) (fig. 45b).

Estudiant la concentració de nitrogen particulat per fraccions (taula XVI), la fracció fina no supera els $0.4\mu\text{gr-at.l}^{-1}$ mentre que la grollera és força important, especialment a l'entrada de la Tancada ($\bar{x}=47.93\pm 47.66$)(fig. 45b). En la resta de canals la fracció ultrafina és superior al 90 % del N particulat total.

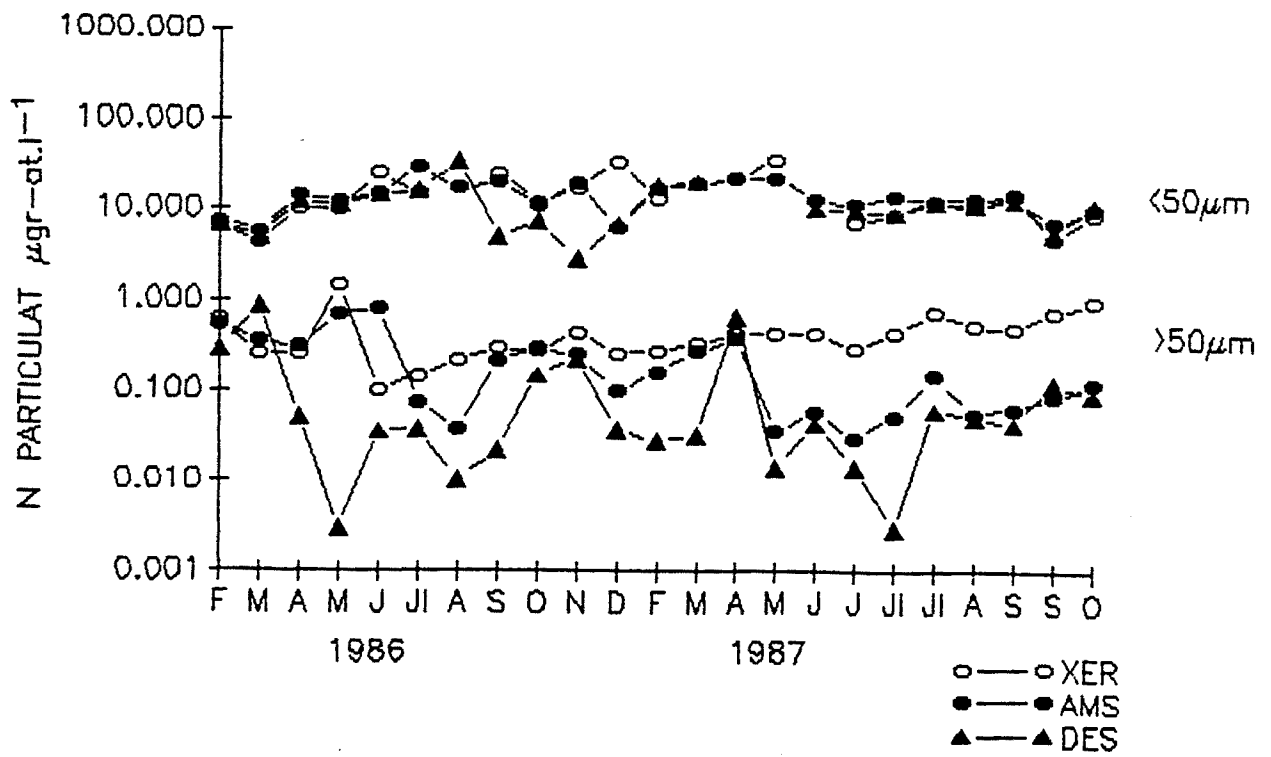


Fig. 44 : Variació anual de la concentració de nitrogen particulat ultrafi (<50µm) i fi+groller (>50µm) en les estacions de superfície del riu.

Estació	Fracció Ultrafina			Fracció Fina			Fracció Grollera		
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.
CAM	23.57±5.04	46.4	11.4	0.25±0.06	0.50	0.10	0.18±0.02	0.25	0.14
SAL	25.41±3.76	41.4	13.6	0.09±0.03	0.21	0.10	0.84±0.35	2.43	0.01
ECK	18.23±2.82	29.3	8.6	0.30±0.23	1.71	0.10	4.26±2.64	14.28	0.02
SCR	33.81±5.63	55.0	11.4	0.37±0.22	1.43	0.002	1.80±1.73	10.43	0.01
ECT	24.49±6.57	55.0	11.4	0.18±0.06	0.45	0.07	47.93±47.66	238.57	0.07
SCT	22.86±3.40	37.1	8.6	0.14±0.06	0.48	0.01	0.09±0.03	0.04	0.21

Taula XVI : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de nitrogen orgànic particulat ($\mu\text{gr-at.l}^{-1}$) de les fraccions ultrafina (<50µm), fina (>50µm, <1mm) i grollera (>1mm), per els canals de reg.

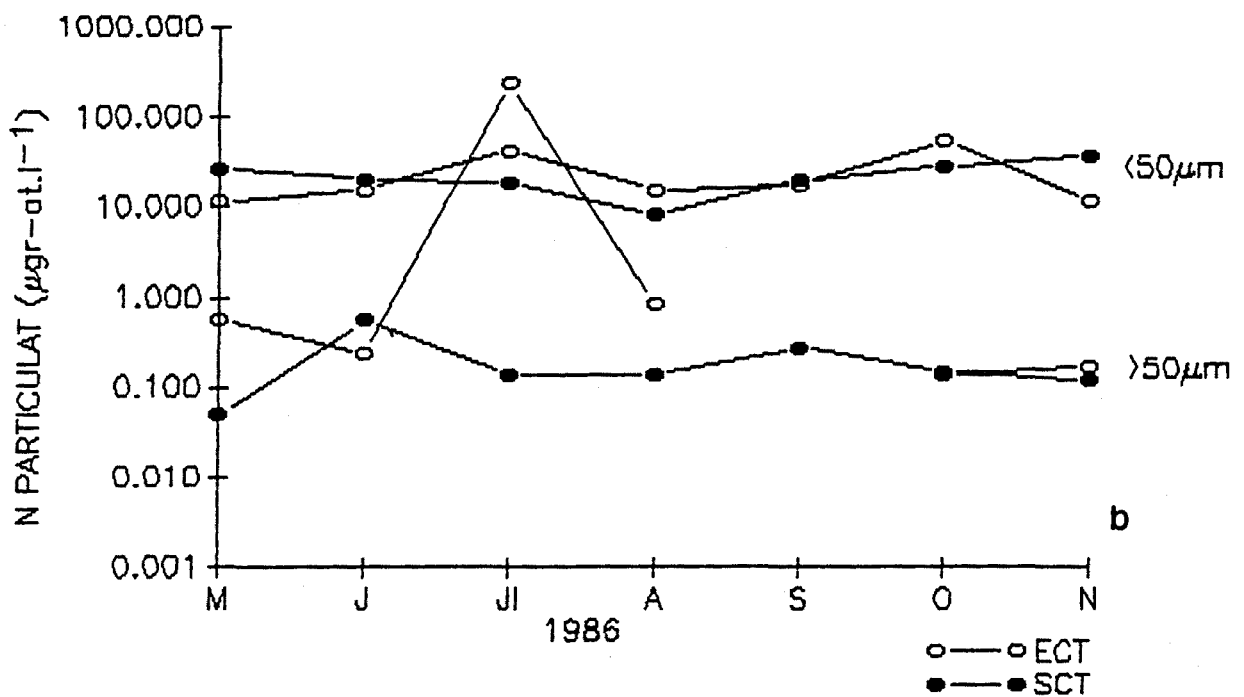
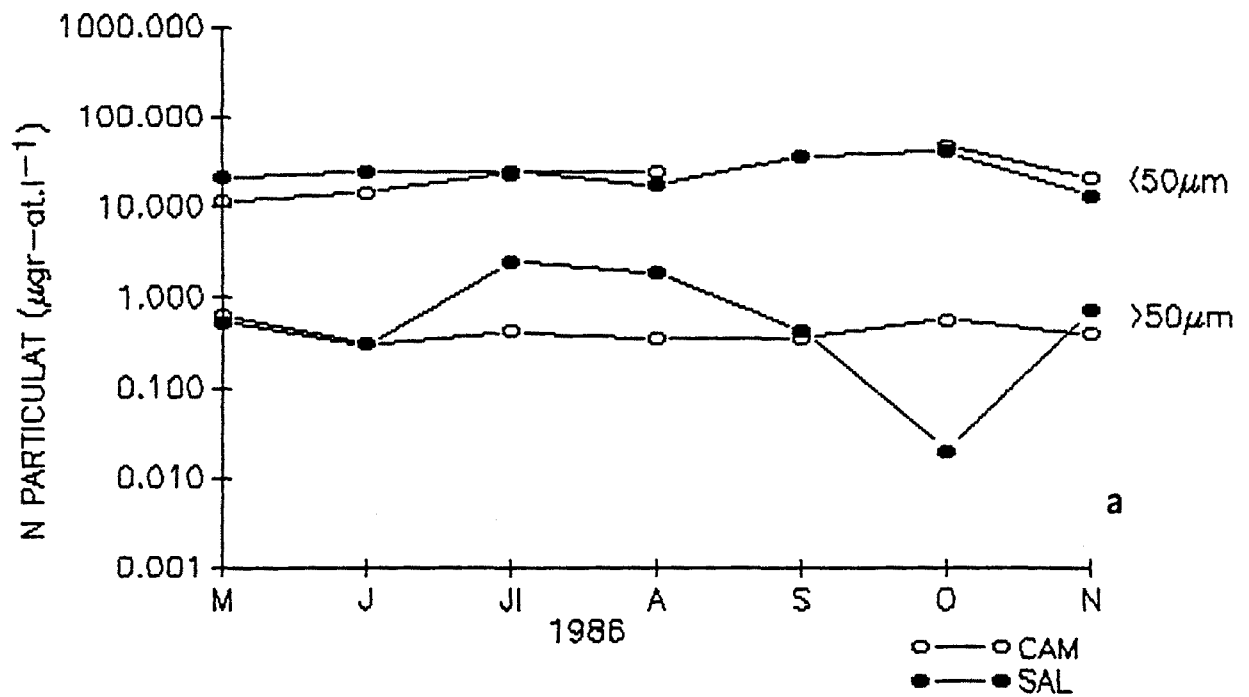


Fig. 45 : Variació anual de la concentració de nitrogen particulat ultrafí (<50µm) i fi+groller (>50µm) en els canals de reg: a) canal d'Amposta i sèquia de l'Ala; b) entrada i sortida de la Tancada.

2.3.5. FÒSFOR PARTICULAT

El fòsfor particulat pot ser una part important del contingut total de fòsfor i pot estar format per: 1) fòsfor que forma part dels organismes (DNA, RNA, fosfoproteïnes, enzims, vitamines, ATP, ADP...), 2) fòsfor com a element constituent de minerals de roques i sòls, per exemple la hidroxiapatita, on el fòsfor s'adsorbeix a complexos inorgànics com argiles, carbonats i hidròxids de ferro i 3) fòsfor adsorbit a matèria orgànica morta o formant agregats macroorgànics.

En la figura 46 podem veure com el patró d'evolució de la concentració de fòsfor particulat canvia a partir de l'abril de 1987, quan hi ha un pic corresponent al màxim de cabal registrat a les mateixes dates. Des d'aquí fins al final de l'estiu hi ha una tendència cap a concentracions més altes a mesura que avança l'estiu, aquest increment no es dona al primer estiu estudiat. La concentració mitjana a la primera part era d' $1.5 \mu\text{gr-at.l}^{-1}$ i a partir de l'abril de 1987 és de $4 \mu\text{gr-at.l}^{-1}$.

L'increment en la concentració de fòsfor particulat l'estiu del 1987 està relacionat probablement amb els mínims de fòsfor soluble al mateix període (vegeu pàg. 40), és a dir, hi hauria una incorporació de fòsfor en forma dissolta a les cèl·lules dels productors primaris.

També hi ha acumulació de fòsfor particulat en les aigües de fons a Amposta (taula XVII), especialment al segon any, però no està relacionat amb la presència de falca salina. A l'illa de Gràcia (fig. 42c) tampoc hi ha una acumulació significativa, tan sols s'aprecia a finals de juliol i setembre, potser relacionat amb aigües que porten cert temps sense renovació.

A la desembocadura les diferències entre superfície i fons són petites durant l'hivern. En canvi, quan a la superfície la producció primària és alta les diferències són notables com succeeix a l'estiu de 1987, al fons la concentració és més baixa per l'efecte de dilució de l'aigua de mar.

El procés d'assimilació i de transport és diferent si es fa a través del fitoplàncton (fòsfor inorgànic soluble) que si es fa a través de consumidors primaris que també poden consumir matèria orgànica fina o grollera. En l'Ebre aquestes fraccions no arriben al 15 % del P particulat total, sent més baix el percentatge aigües avall (fig. 46). Tot i així la concentració de fòsfor particulat total és força important i pot arribar a ser de l'ordre del 50 % o més del fòsfor total (particulat i soluble). Les oscil·lacions no marquen un patró estacional clar, però es torna a incrementar el material fi a la descàrrega de maig de 1986 i no a l'abril, com en el cas del C i N particulats, tot i així aquest pic és poc important en termes de concentració respecte al fòsfor particulat total (fig. 46).

Estació	P particulat total		
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.
CAM	1.46±0.23	2.40	0.60
SAL	3.04±0.96	7.58	1.34
ECE	2.22±0.70	5.87	0.60
SCE	1.32±0.28	2.80	0.51
ECT	2.82±1.43	9.90	0.56
SCT	1.30±0.32	2.58	0.29

Taula XVIII : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de fòsfor particulat total ($\mu\text{gr-at.l}^{-1}$), als canals de reg.

Estació	Fracció Ultrafina			Fracció Fina + Grollera		
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	max.	min.
XER	3.04±0.39	5.89	0.74	0.056±0.01	0.14	0.002
TOR	2.68±0.39	5.72	0.39	0.028±0.006	0.07	0.001
ANS	3.14±0.43	6.34	0.59	0.019±0.007	0.11	0.001
ANF	3.38±0.49	9.35	0.96			
DES	2.61±0.38	7.58	0.54	0.007±0.004	0.06	0
DEF	1.32±0.19	3.39	0.12			

Taula XVII : Valors mitjans, mínims i màxims de la concentració de fòsfor particulat ($\mu\text{gr-at.l}^{-1}$) de les fraccions ultrafina ($<50\mu\text{m}$), fina ($>50\mu\text{m}$, $<1\text{mm}$) i grollera ($>1\text{mm}$), per les estacions del riu.

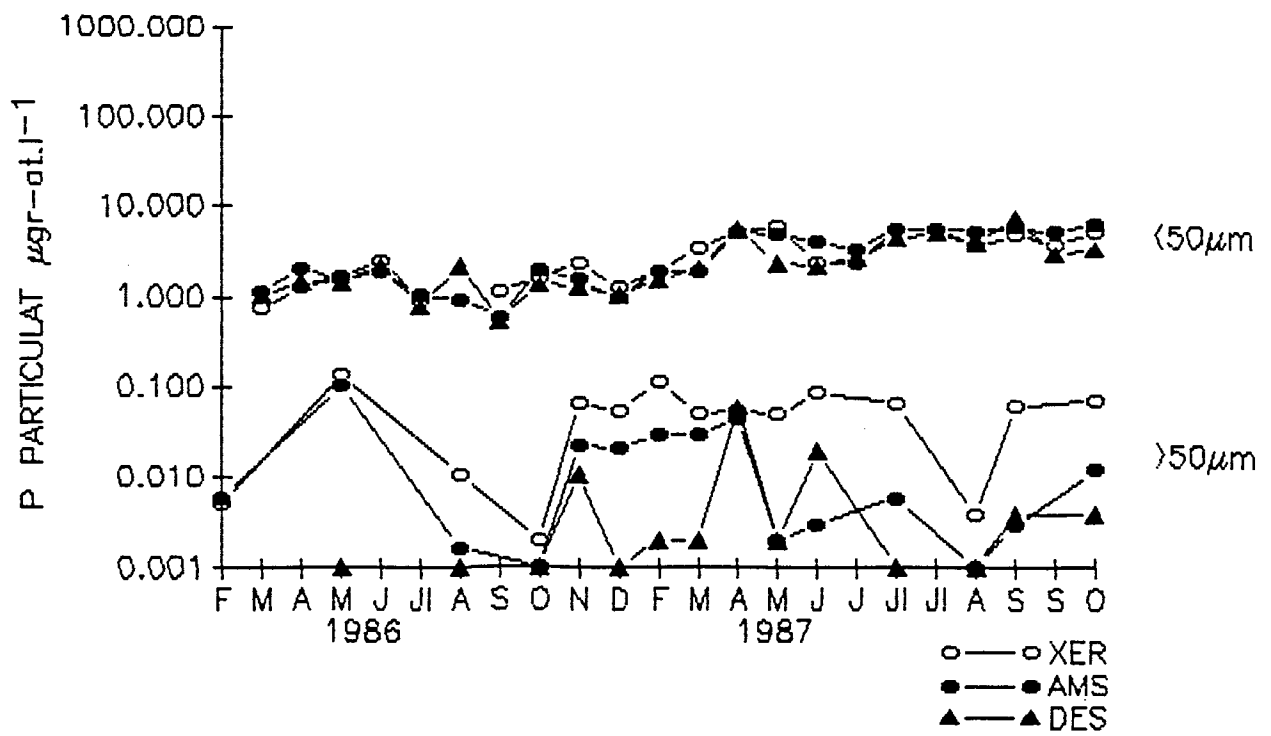


Fig. 46 : Variació anual de la concentració de fòsfor particulat ultrafí ($<50\mu\text{m}$) i fí+groller ($>50\mu\text{m}$) en les estacions de superfície del riu.

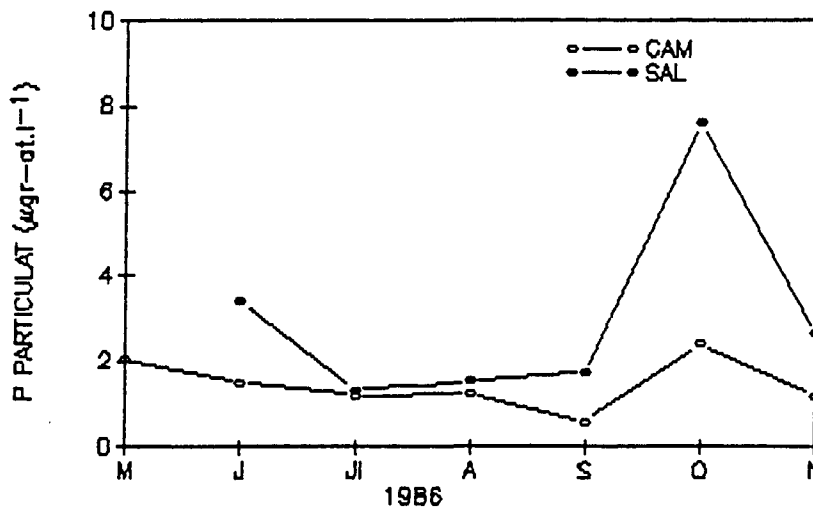


Fig. 47 : Variació anual de la concentració de fòsfor particulat total als principals canals (CAM i SAL).

La concentració de fòsfor particulat als canals

En els canals s'ha mesurat només la concentració de P particulat total i no hem diferenciat les diferents proporcions segons les fraccions.

La concentració que al canal d'Amposta té una mitjana d' $1.96 \pm 0.23 \mu\text{gr-at.l}^{-1}$ passa a 3.04 ± 0.96 a la sèquia de l'Ala (fig. 47, taula XVIII). Als canals de sortida de les llacunes les concentracions disminueixen respecte a les entrades (taula XVIII). En el cas del canal de l'Encanyissada a la meitat del període d'obertura dels canals, la concentració de sortida és una mica més alta que la d'entrada. Al mes d'octubre s'observa un màxim important a tots els canals que supera els $6 \mu\text{gr-at.l}^{-1}$.

2.4. CANVIS EN LES RELACIONS DE CARBONI, NITROGEN I FÒSFOR

La relació entre el nitrogen i el fòsfor particulats és més gran l'estiu de 1986 (fig. 48), disminueix cap a la tardor i l'hivern i arriba a l'estiu de 1987 a les relacions més baixes properes a 2 a causa de l'augment general que presenta el fòsfor particulat al llarg d'aquest estiu. El comportament és similar a totes les estacions menys al fons de la desembocadura, on la dispersió dels punts correspon a la major variabilitat en les concentracions d'aquesta estació. En la figura 49b podem observar una àmplia dispersió en els valors de la relació nitrogen-fòsfor particulats en favor majoritàriament del fòsfor i en totes les estacions de superfície i les de fons amb falca salina, en aquest darrer cas per efecte de l'acumulació al fons.

Si considerem la relació entre nitrogen inorgànic dissolt (nitrit+nitrat+amoni) i el fòsfor inorgànic dissolt, relació que té interès perquè aquests compostos es troben en l'única forma assimilable pels productors primaris, tenim valors gairebé sempre més alts de 20 (fig. 50), relació superior a la proposada per Redfield per al fitoplàncton. Els valors més baixos els trobem cap a finals de l'estiu a totes les estacions i per tots dos anys. A l'estació d'Amposta a les aigües de fons aquesta relació és de 7 o més baixa a causa de l'efecte de la falca salina. El mateix s'observa quan fem una nova representació de tots els valors (fig. 49a). La majoria de les dades se situen per sobre de la relació 10:1, cosa que indica una major importància de la concentració de nitrogen inorgànic dissolt. Només hi ha relacions baixes a l'estació d'Amposta en fondària coincidint amb la presència de falca amb mínims de nitrat i màxims de fòsfor. Quan la concentració d'amoni es fa important en la falca la concentració de nitrogen inorgànic dissolt pot tornar a ser alta i mantenir-se amb valors similars a períodes sense falca, només la

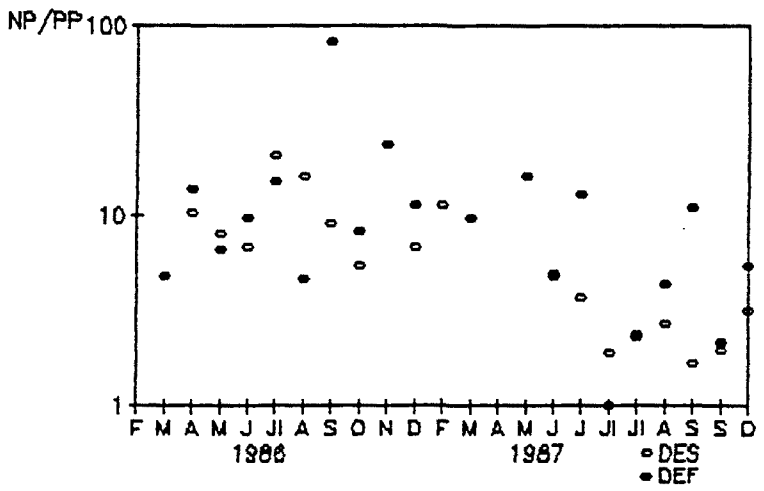
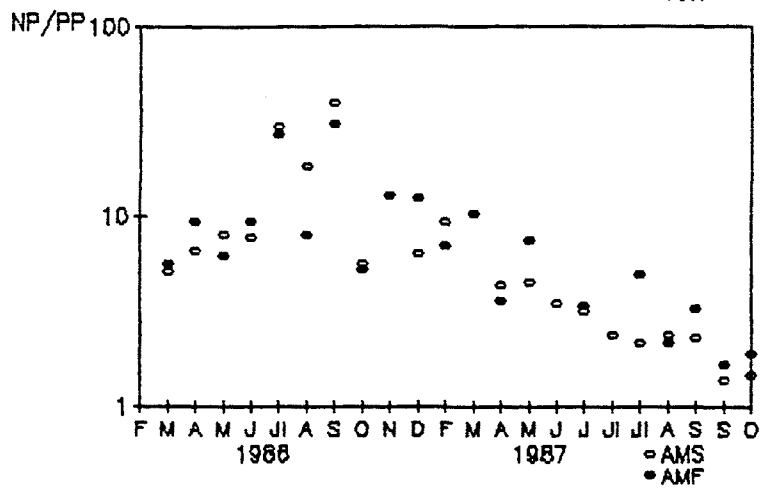
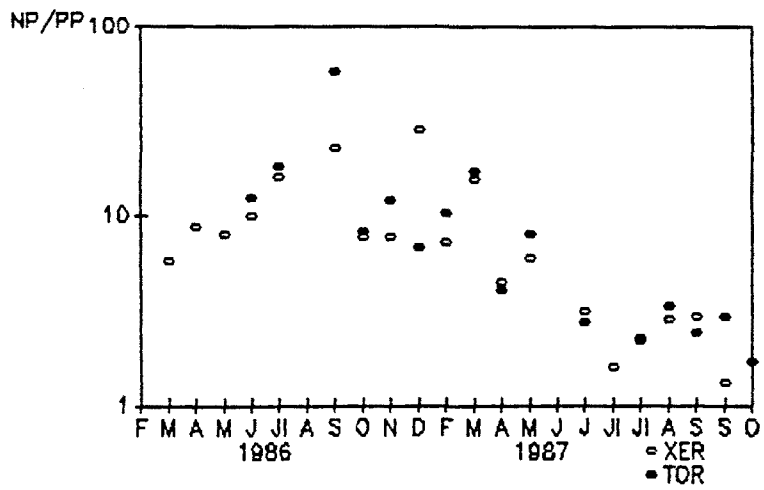


Fig. 48 : Variació anual de la relació atòmica entre el nitrogen i el fòsfor particulats a les estacions del riu.

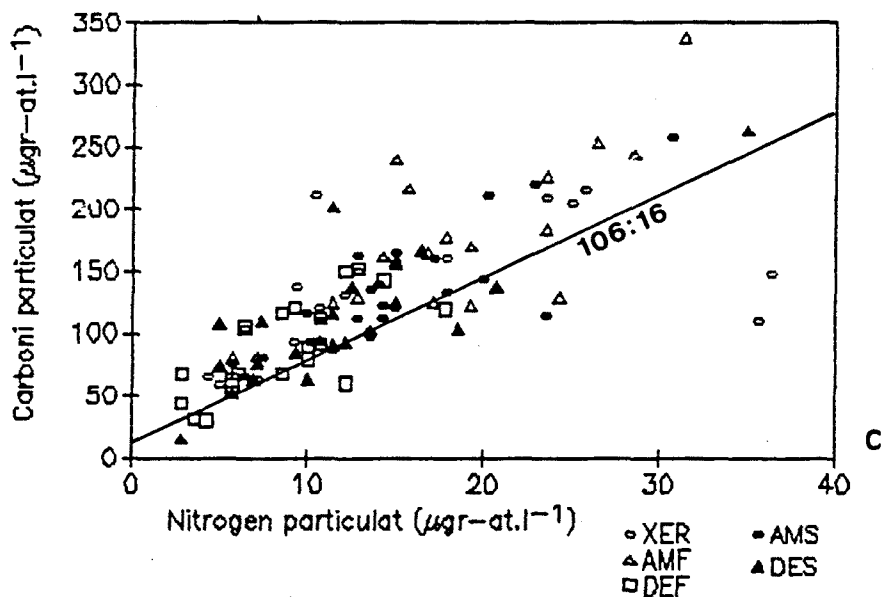
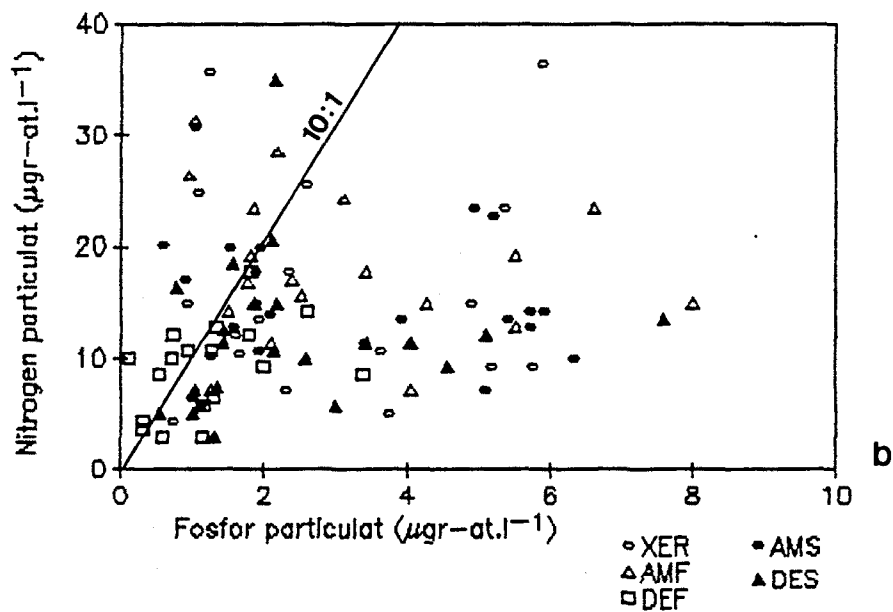
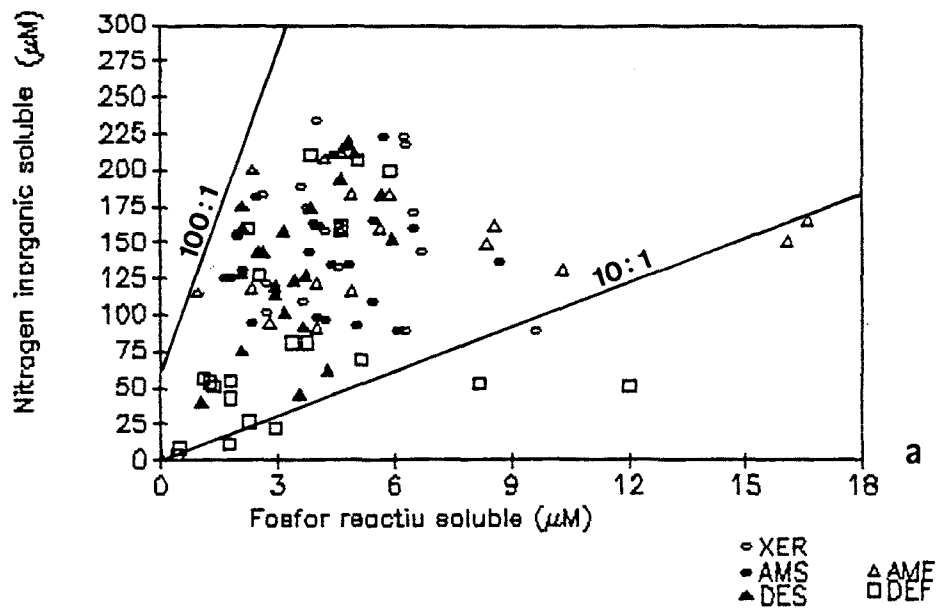


Fig. 49 : Relació entre les concentracions de: a) nitrogen inorgànic soluble i el fòsfor reactiu soluble; b) nitrogen i fòsfor particulats; c) carboni i nitrogen particulats. Totes a les estacions del riu.

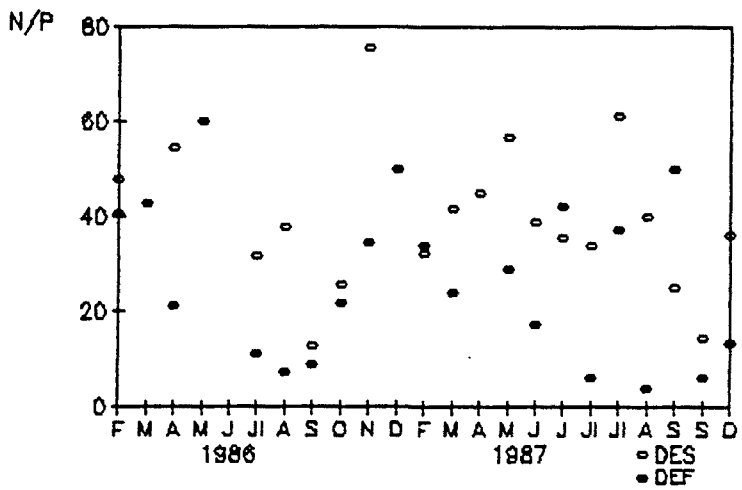
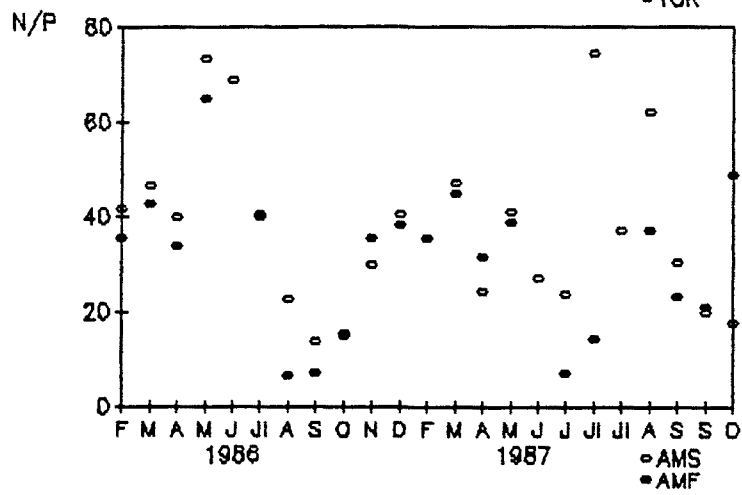
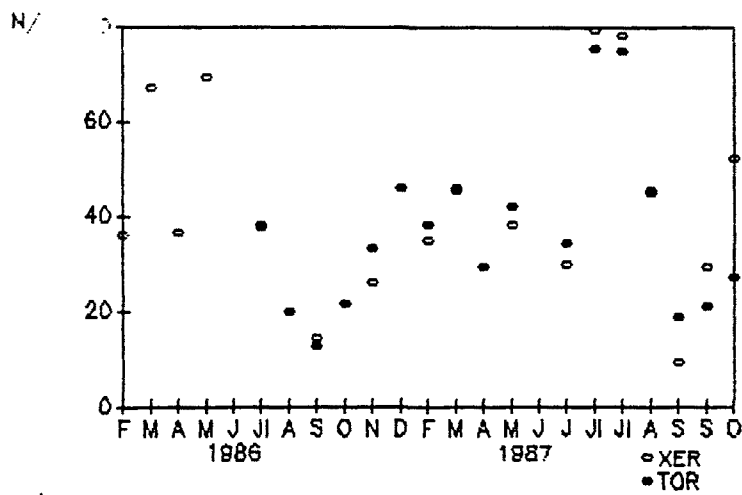


Fig. 50 : Variació anual de la relació atòmica entre el nitrogen i fòsfor solubles a les estacions del riu.

proporció de les tres formes (nitrat, nitrit i amoni) és diferent. A la figura 49a podem observar alguns valors de l'estació d'Amposta al fons caracteritzats per concentracions altes de fòsfor i baixes de nitrogen, altres determinacions en situació de falca en aquesta estació queden emmascarades per les elevades concentracions d'amoni. Al fons de la desembocadura la relació és baixa a vegades, lligat a concentracions baixes de nutrients.

Pel que fa a la relació entre el carboni i el nitrogen particulats, aquesta és més alta durant el període de cabal alt, cap a la primavera (fig. 51); cosa que indica una proporció més important de material més refractari, poc làbil de difícil descomposició. En canvi a l'estiu aquesta relació baixa i es manté al voltant de 7 (propera a 106:16), especialment a les estacions estuarines (fig. 49c). A Xerta i Tortosa es manté propera a 10. Aquests canvis estan relacionats amb el percentatge de fitoplàncton a l'aigua respecte a la contribució de detritus no orgànics (FLEMER i BIGGS, 1971; WARD i TWILLEY, 1986), de forma que la relació és menor com més gran és la importància del fitoplàncton, i en el nostre cas aquest és més important a la part estuarina del riu i a l'estiu.

En els canals la relació més significativa és la del carboni i nitrogen particulats (fig. 52), ja que disminueix en el canal d'Amposta a mesura que avança l'estiu mentre que a la sèquia de l'Ala augmenta a causa d'un increment de la proporció de carboni. En la resta de canals la relació presenta valors alts a ple estiu (agost i setembre) i més baixos al principi i final del cicle, en tots els casos la relació mai baixa de 6. Cal pensar que en aquests tipus d'ambients (canals de reg que travessen camps de conreu) la proporció de detritus i de material poc làbil de difícil degradació és important.

2.5. TRANSPORT TOTAL DE MATERIAL CAP EL MAR

Els rius tenen un paper molt important en el transport de nutrients des dels sòls de la conca fins al mar i una influència significativa en els processos que tenen lloc en les zones més costeres. S'ha quantificat en diverses ocasions el transport de material tant en les formes dissoltes com particulades (MEYBECK, 1982; SCHLESINGER i MELACK, 1981; DEGENS et al., 1984; MICHAELIS et al., 1986).

Un cop conegudes les concentracions dels nutrients i del material particulat que arriba al mar des del riu directament o a través de la xarxa de canals de reg, saber el transport total de material ens permetrà avaluar l'input total de nutrients i material en suspensió a la zona del mar propera al delta de l'Ebre.

El transport de material en suspensió normalment està controlat pel cabal del riu però també hi poden influir molts altres factors, com el tipus de conca, el metabolisme

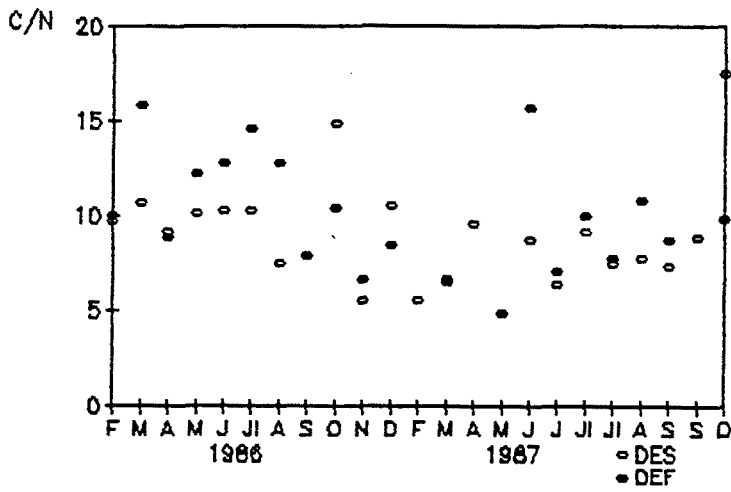
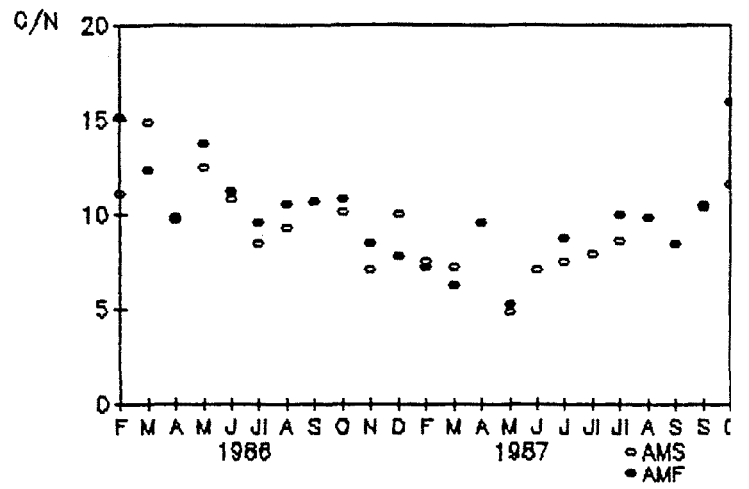
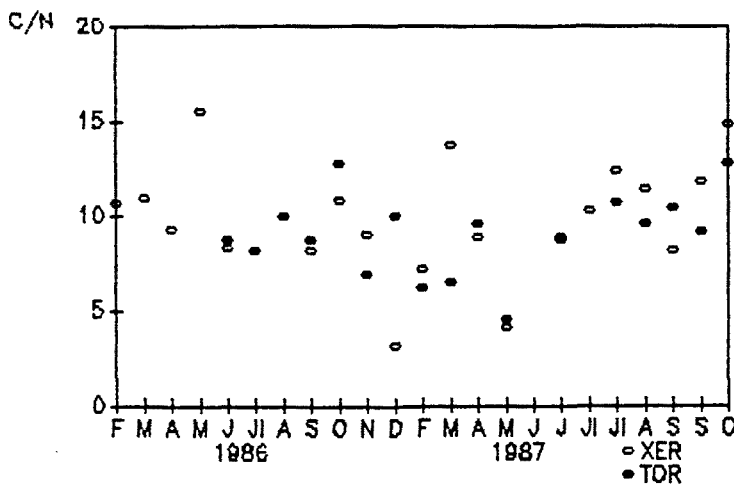


Fig. 51 : Variació anual de la relació atòmica entre el carboni i nitrogen particulats a les estacions del riu.

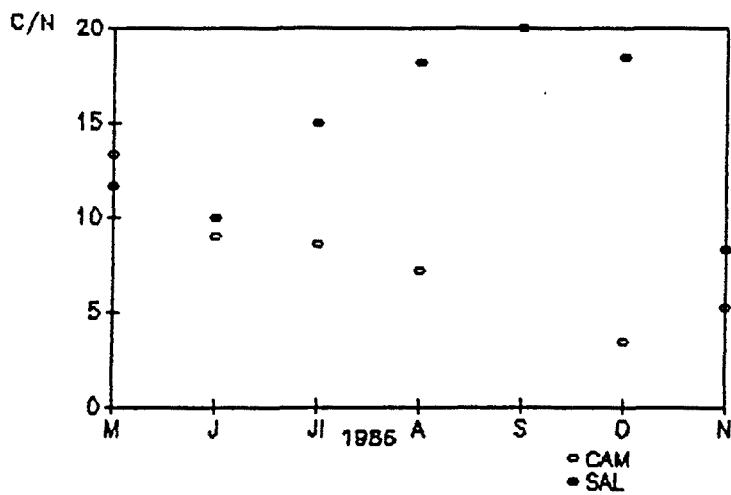


Fig. 52 : Variació anual de la relació atòmica entre el carboni i nitrogen particulats als canals.

d'aquest material, la periodicitat de les riades i estiatges, etc. En el nostre cas, i com ja hem comentat en capítols anteriors, la concentració de material en suspensió no segueix una relació clara amb el flux del riu i és diferent segons l'estació de mostreig i l'època de l'any. Tot i així creiem interessant de fer una primera aproximació per tal d'avaluar el transport de nutrients i sòlids en suspensió al llarg del període estudiat i per estacions.

Farem dos càlculs aproximatius, un emprant la variació estacional del transport dels diferents nutrients i sòlids en suspensió, aquests valors estaran calculats a partir de la concentració mensual trobada en el camp en les nostres sortides i del cabal mitjà mensual obtingut per les dades proporcionades per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre. La segona determinació, la farem considerant la concentració mitjana anual multiplicada pel cabal mitjà anual del riu. En aquest cas només tindrem en compte les concentracions trobades a l'estació de la desembocadura, ja que és la que es localitza més pròxima al mar i on queden reflectides les possibles pèrdues o transformacions que els nutrients poden sofrir aigües amunt.

Tots els resultats seran valors mitjans i aproximats ja que no hi ha una correlació lineal clara entre les concentracions dels paràmetres estudiats i el cabal del riu.

2.5.1. TRANSPORT DE MATERIAL AL LLARG DE L'ANY

Si observem la figura 53 on es presenta el transport de nutrients dissolts i particulats pels diferents mesos a les estacions de Xerta i la desembocadura a la superfície, veiem que existeix una marcada estacionalitat i d'aquí la importància de recollir mostres almenys al llarg d'un any hidrològic (DEGENS et al., 1985).

En general, aquest comportament estacional s'observa tant en el material en suspensió total com en les formes particulades i dissoltes de carboni, nitrogen i fòsfor amb mínims a l'estiu i la tardor i màxims a la primavera. Aquesta estacionalitat estaria relacionada amb la diferència de la descàrrega del riu en les dues etapes. Michaelis et al. (1986) assenyalaven que en molts rius del món més del 60 % del material transportat es realitza en un període curt de temps. També podem observar com els màxims coincideixen amb màxims de cabal al maig de 1986 i l'abril de 1987, especialment en el material particulat.

Sumant el transport mensual dels diferents nutrients per cada estació (taula XIX) podem veure certes diferències anuals des de les estacions situades aigües amunt i la desembocadura. En tots els casos hi ha una disminució en el transport cap al mar i és més important en el cas del material en suspensió total i en el carboni particulat.

Tot i que les concentracions de sòlids en suspensió o de certes formes de nutrients són més importants en fondària, no significa un transport més important pel fons ja que

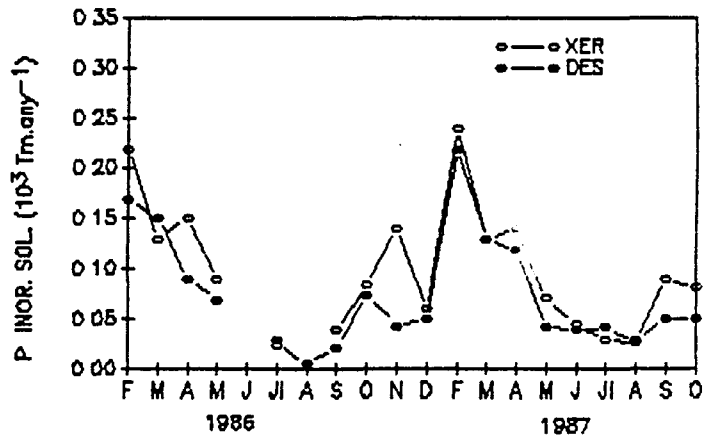
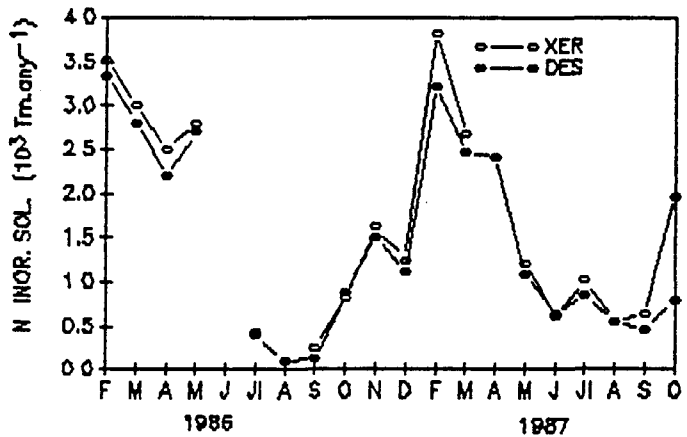
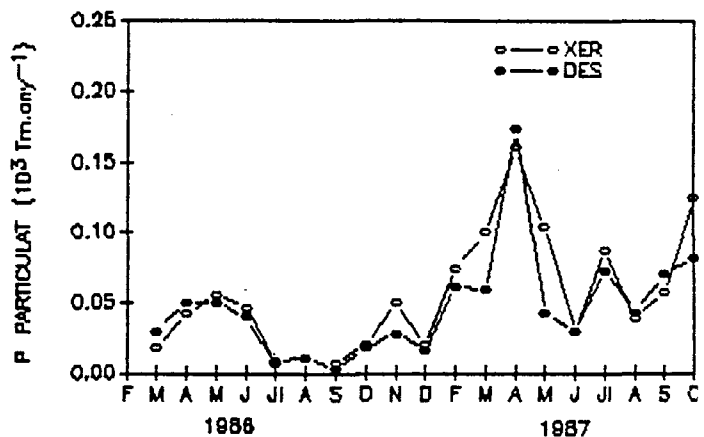
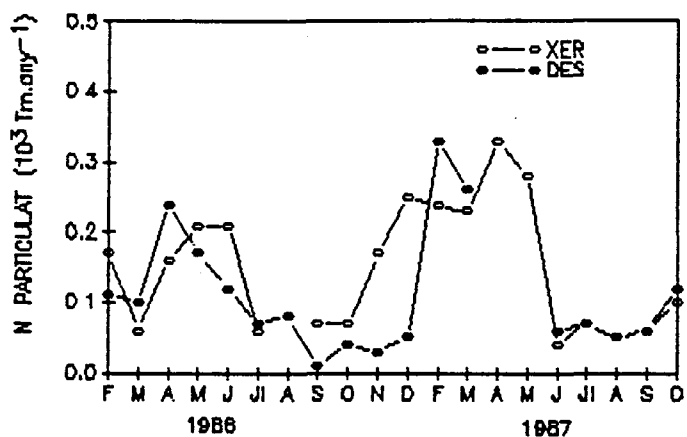
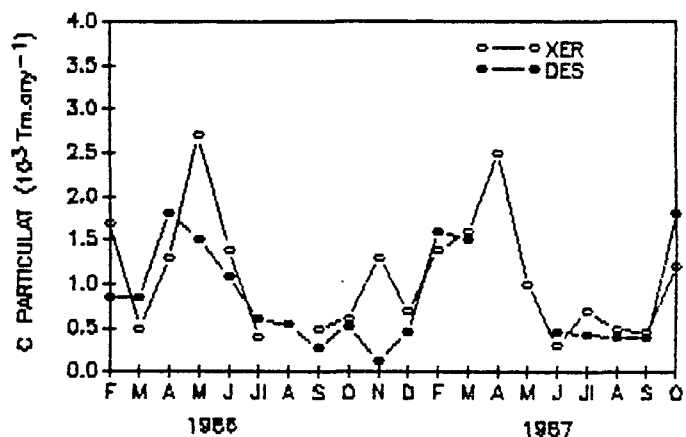
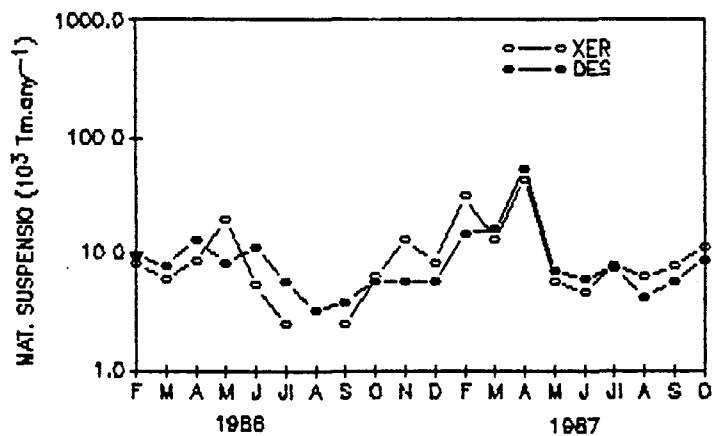


Fig. 53 : Diferències en el transport mensual de material en suspensió i dels nutrients en forma particulada i soluble, entre les estacions del riu de Xerta i la desembocadura.

aquí l'aigua no té flux o aquest és molt limitat.

2.5.2. TRANSPORT DE MATERIAL EN ELS ANYS ESTUDIATS

Es millor fer el càlcul del transport total anual des del riu al mar a partir de les concentracions de l'estació de la desembocadura per tal de tenir en compte els processos que es poden donar al darrer tram del riu. Processos com flocculació, adsorció o sedimentació poden alterar la natura i quantitat de la matèria que entra al mar (MICHAELIS et al., 1986).

El transport de carboni orgànic dissolt calculat amb les dades recollides, segons explicàvem en el seu moment, és d'aproximadament $34.75 \cdot 10^3$ Tm per l'any 1986 i $36.82 \cdot 10^3$ el 1987 (fig. 54). La forma més abundant de carboni transportat és la del carboni inorgànic dissolt amb $287.2 \cdot 10^3$ Tm i $302.6 \cdot 10^3$ al 1986 i 1987, respectivament. El carboni orgànic dissolt ve a ser unes tres vegades la concentració del carboni particulat en els dos anys, això ens pot ajudar per tenir una relació directa del DOC a partir de la concentració de carboni particulat.

Entre les formes particulades el carboni és la més important. El riu Ebre transporta unes deu vegades més carboni particulat que nitrogen particulat i cent vegades més que fòsfor particulat en el primer any; al 1987 el transport de fòsfor particulat és proper al del nitrogen. En el cas de les formes dissoltes es transporta una part molt important de carboni orgànic dissolt, mentre que el nitrogen i fòsfor dissolts segueixen entre ells la relació 10:1.

Les diferències entre les dues formes de càlcul són molt petites tot i que les dades s'han tractat de forma diferent, si en el primer càlcul les concentracions eren la suma de les mitjanes mensuals (taula XIX), en el segon eren anuals (fig. 54).

Transport de material en els canals de reg

En el cas dels canals els càlculs del material transportat a les badies es fa encara més especulatiu ja que no disposem de dades precises del cabal que aquests canals porten al llarg del període de reg perquè no estan mesurats pels organismes corresponents. A més les importants oscil·lacions en les concentracions d'alguns nutrients i el limitat nombre de dades (n=7) fa poc representatives les mitjanes.

El càlcul aproximatiu del cabal a partir de dades recollides per nosaltres de la velocitat de l'aigua i la secció del canal (c.p. Lucena, J.R.) ens permetrà fer una aproximació al transport total (taula XX). El material que arriba des del canal d'Amposta

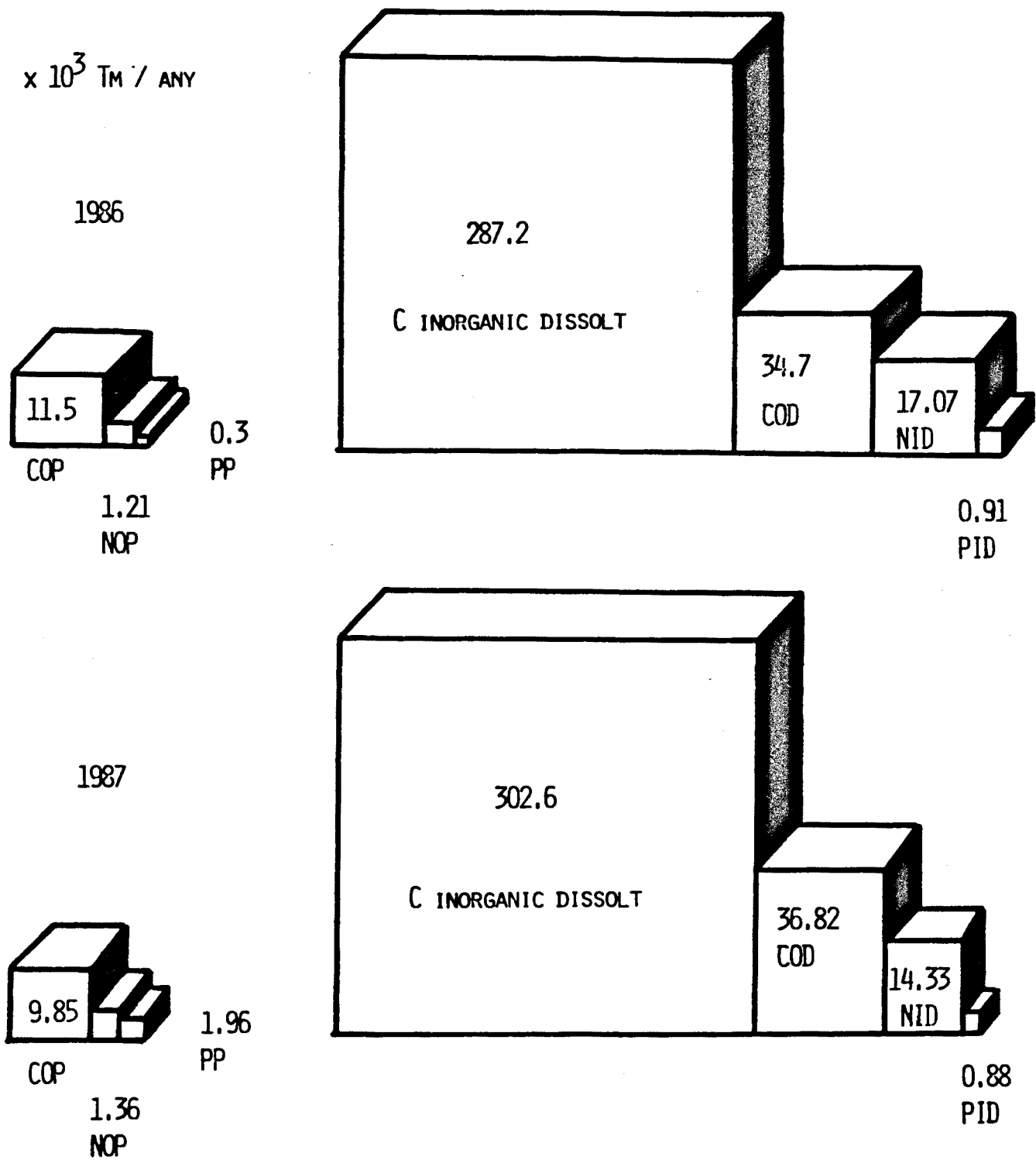


Fig. 54 : Representació del transport total cap el mar de les diferents formes de C, N i P, en els dos anys estudiats. COP= carboni orgànic particulat; NOP= nitrogen orgànic particulat; PP= fòsfor particulat; CID= carboni inorgànic dissolt; COD= carboni orgànic dissolt; NID= nitrogen inorgànic dissolt; PID= fòsfor inorgànic dissolt.

Transport total (\bar{x}) 10^3 Tm/any				
	Any	XER	AMS	DES
Material en suspensió	1986	96.31	89.16	87.30
	1987	176.55	157.00	165.81
Carboni particulat	1986	13.32	11.93	9.41
	1987	12.87	13.64	11.30
Nitrogen particulat	1986	1.72	1.35	1.11
	1987	1.87	1.92	1.63
Fòsfor particulat	1986	0.36	0.33	0.30
	1987	1.03	1.05	1.55
Nitrogen inor. dissolt	1986	19.45	18.59	18.23
	1987	18.80	15.09	16.64
Fòsfor inor. dissolt	1986	1.25	1.05	0.85
	1987	1.14	1.03	0.97

Taula XIX : Transport total de material en suspensió, carboni, nitrogen i fòsfor particulats, i nitrogen i fòsfor inorgànic dissolt, en tres estacions del riu. Anys 1986-1987.

Transport total canals (\bar{x}) Tm/any						
	CAM	SAL	ECE	SCE	ECT	SCT
Material en suspensió	3400-5900	3000-7090	300-1650	600-1810	260-710	170-470
Carboni particulat	500-800	200-470	30-150	50-250	40-110	10-30
Nitrogen particulat	80-140	12-35	3-15	5-25	4-11	1-3
Fòsfor particulat	11-19	3-9	0.7-3	0.4-2	0.3-0.9	0.1-0.4
Nitrogen inor. dissolt	360-600	50-150	7-34	4-20	0.5-1	0.6-2
Fòsfor inor. dissolt	30-50	2-8	0.7-3	0.3-2	0.5-1	0.01-0.2

Taula XX : Rang de variació (mínim-màxim) del transport total de material en suspensió, carboni, nitrogen i fòsfor particulats i nitrogen i fòsfor inorgànic dissolt, als canals de reg durant els mesos que són oberts.

es distribueix per la xarxa de canals i sofreix una sèrie de transformacions, de manera que disminueix al llarg del trajecte. El transport més important, el fa el canal de la sèquia de l'Ala amb un cabal que representa un 40 % de l'aigua que arriba a la badia.

A la sortida del sistema a través del canal de la sèquia de l'Ala el transport total de sòlids en suspensió s'incrementa respecte al que el canal principal aportava, mentre que no succeeix el mateix amb les diferents formes de nutrients particulats i dissolts. El transport de nutrients disminueix cap a les badies respecte al que arriba des del riu, tot i que al llarg dels camps d'arròs s'introdueix una quantitat important de nutrients en forma d'adob (FORES, 1989). Això ens indica que el consum o la sedimentació i l'oxidació posterior del material particulat a través del sistema deltaic és molt important.

2.6. ESTUDIS INTENSIVS EN EL TEMPS

Es van dur a terme dos cicles diaris amb recollida de mostres periòdicament al llarg d'un període de temps curt (un o dos dies). L'objectiu d'aquest estudi era comprendre millor la variabilitat temporal a curt termini de diferents variables físico-químiques i les causes d'aquestes.

El primer cicle diari es va fer a l'estació d'Amposta durant el 6 i 7 de febrer de 1986 amb mostres recollides a les 16, 18, 24, 8, 12 i 16 hores. Les variables mesurades van ser la conductivitat, la temperatura, el pH, els sòlids en suspensió, l'alcalinitat, l'oxigen, la matèria orgànica, el carboni i nitrogen particulats, els nitrats, els nitrits, l'amoni, els fosfats i el cabal.

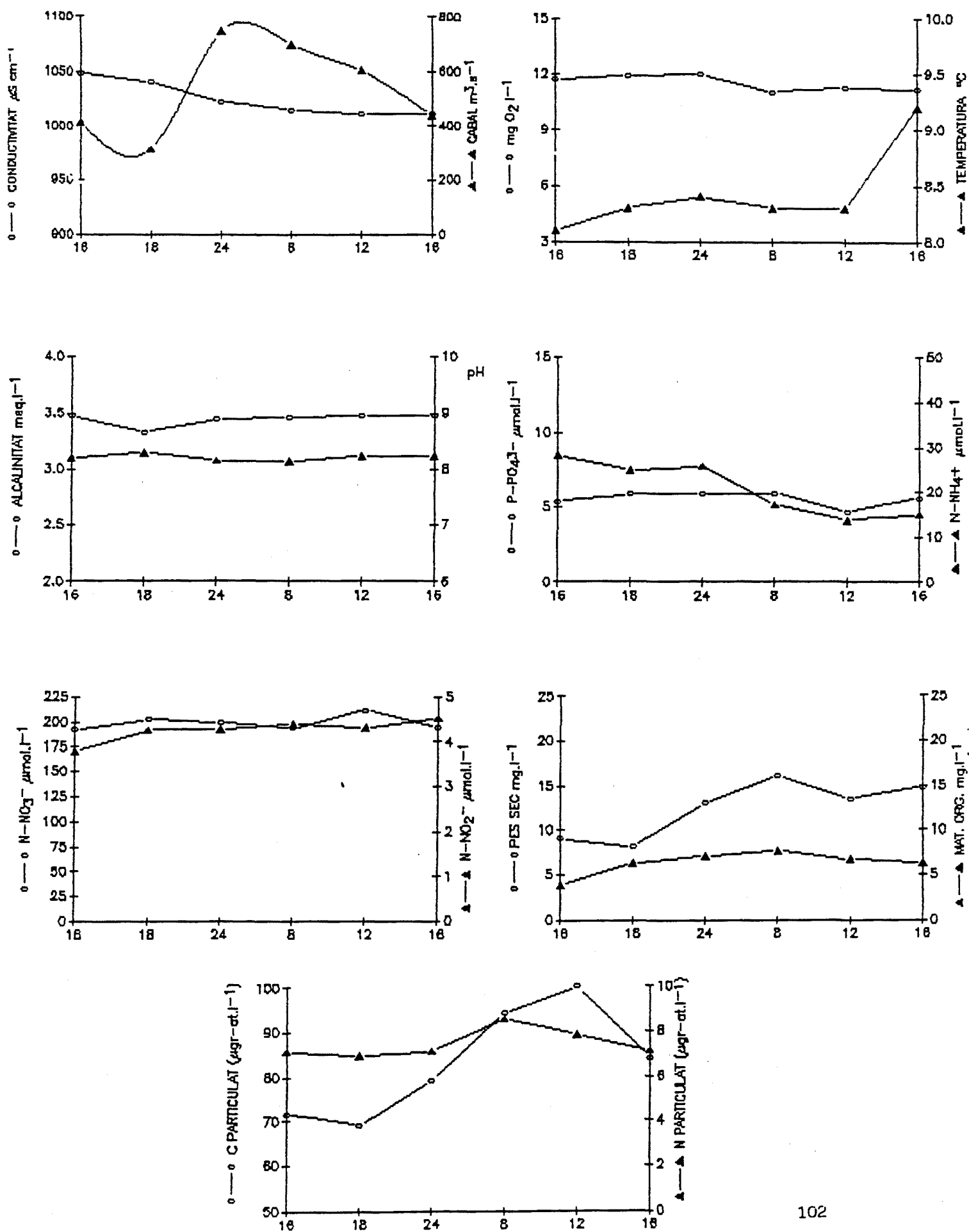
El segon cicle diari va ser els dies 29 i 30 de juliol de 1987 a l'estació de Tortosa, començant a les 19 hores del primer dia fins a les 19 h del segon, amb periodicitat horària. Les variables mesurades en aquest cas van ser el cabal i nivell de l'aigua, la conductivitat, la temperatura, els sòlids en suspensió i la matèria orgànica, la concentració de clorofil·la a i l'índex de pigments D430/D665.

2.6.1. RESULTATS CICLE DIARI FEBRER, 1986

A l' llarg del cicle diari, en el qual la variació de cabal fou considerable (fig. 55), la temperatura s'incrementa a mesura que el dia avança amb 1 °C de diferència entre les 16 hores dels dos dies consecutius. La conductivitat baixa al llarg del dia però les diferències no són significatives. El pH i l'alcalinitat no presenten variacions importants, a l'igual de l'oxigen, els nitrats i els nitrits. Els fosfats tenen una concentració propera als



Fig. 55 : Variació diària (6, 7 febrer, 1986) a l'estació d' Amposta, de les diferents variables.



5 μ M gairebé a tot el cicle però l'amoni baixa a valors inferiors a 20 μ M a partir de les primeres hores del matí i es manté així fins el final del cicle, en què la concentració és més baixa que en el dia anterior a la mateixa hora.

El carboni particulat augmenta fins arribar a valors propers als 100 μ gr-at.l⁻¹ al migdia, després torna a concentracions més baixes (fig. 55). El nitrogen particulat per contra es manté al voltant dels 7 μ gr-at.l⁻¹ tot el cicle. Els sòlids en suspensió s'incrementen al vespre i durant les primeres hores del matí, coincidint amb els màxims de cabal (fig. 55) regulats pels embassaments situats aigües amunt. La matèria orgànica no s'incrementa amb el mateix ritme que el pes sec i es manté amb valors similars (8 mg.l⁻¹) al llarg de tot el cicle.

En general hi ha poca variabilitat en un dia tot i que el cabal és diferent, les possibles variacions diàries s'uniformitzen amb l'alt cabal del riu.

2.6.2. RESULTATS CICLE DIARI JULIOL, 1987

El primer que podem observar són les importants variacions al llarg de les 24 hores del cabal encara que no tan importants com al febrer, i del nivell del riu (fig. 56a), aquest últim mesurat en un punt fix del riu. Aquests dos paràmetres augmenten a partir de les 20 hores i es dona el màxim de nivell (92 cm) entre la 1 h i les 5 h de la matinada. Després baixa a partir de les 5-6 h fins que s'arriba a un valor estacionari (65 cm) entre les 16 i 19 h. Aquest comportament s'observa igualment en el cas del cabal amb valors que varien entre 130 i 400 m³.s⁻¹.

Conductivitat

La conductivitat es mou entre 930 i 969 μ S.cm⁻¹, variació no significativa des del punt de vista químic. El que sí que cal remarcar és el fet que durant el període de màxim cabal es detecten variacions relativament sobtades en hores consecutives (fig. 56b), possiblement explicables per la turbulència generada en aquest període.

Temperatura

L'evolució de la temperatura segueix les diferències dia-nit, tenint en compte el desfassament existent entre la temperatura ambient i la de l'aigua. Així trobem els mínims a les 5 h (24 °C) i els màxims a les 13 h (30.8 °C).

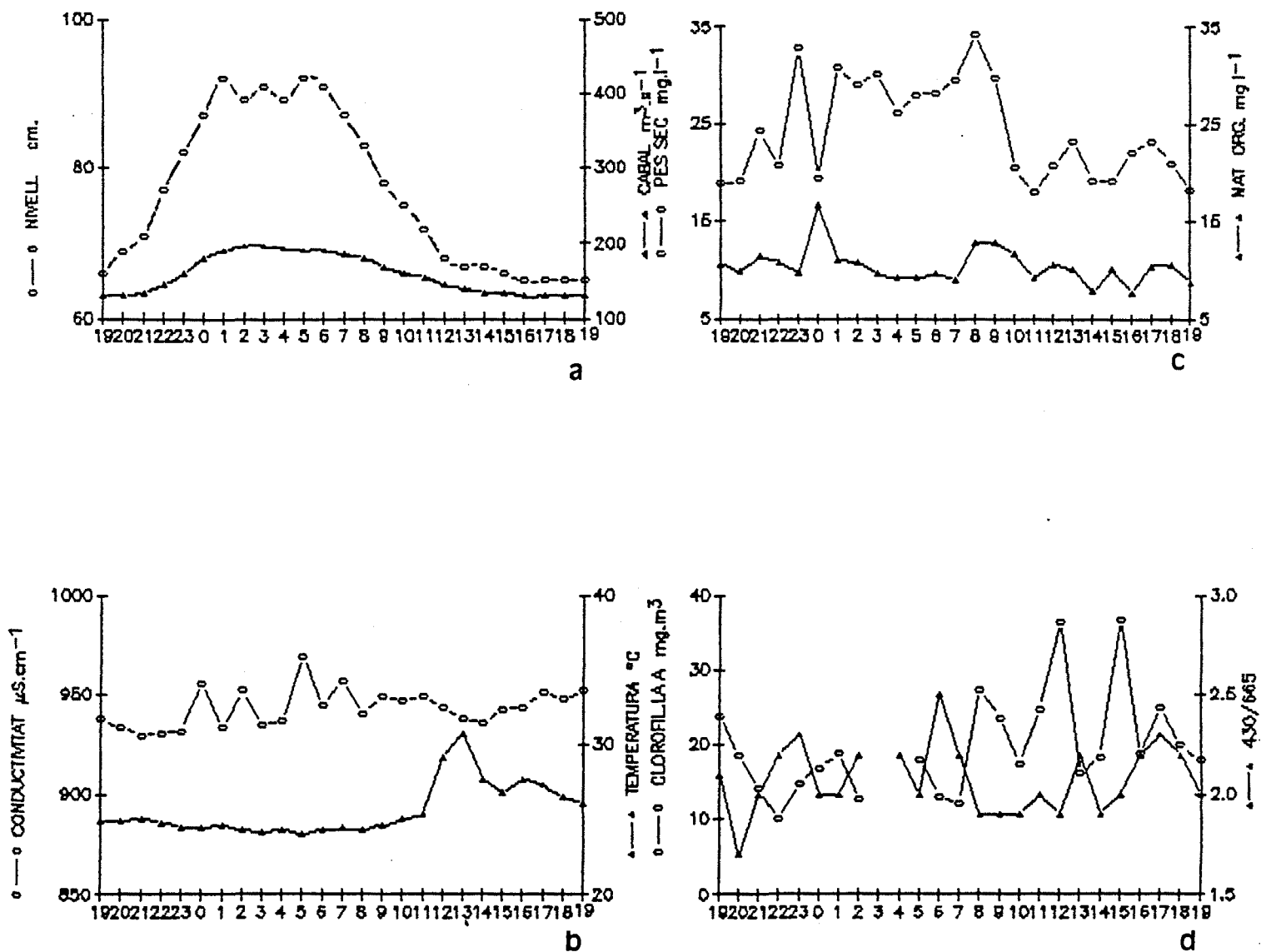


Fig. 56 : Variació diària (29, 30 juliol, 1987) a l'estació de Tortosa, de les diferents variables.

Pes sec i matèria orgànica

L'augment de cabal a la nit comporta un cert increment en la concentració de sòlids en suspensió (fig. 56c). Però aquests canvis no afecten de forma important la concentració de matèria orgànica, que oscil·la entre 7 i 13 mg.l⁻¹. Aquest comportament diferent es correspon amb un augment de matèria inorgànica provinent en part dels embassaments i en part de la resuspensió de material de les vores del riu, que s'inunden quan puja el nivell.

Clorofil·la a i índex D430/D665

Els valors màxims en la concentració de clorofil·la a coincideixen amb les hores de màxim llum, encara que hi ha una important variació en hores consecutives (fig. 56d). El fitoplàncton no es distribueix uniformement sino que forma taques on la concentració de cèl·lules és més important. Aquestes taques poden tenir certa mobilitat al llarg del riu (DECAMPS et al., 1976) i d'aquí les diferències de concentració. La concentració màxima durant el dia va ser de 36.7 mg.m³ a les 15 h i la mínima de 10 mg.m³ a les 22h.

Els valors de l'índex de pigments oscil·len entre 1.7 i 2.5, i els índexs més alts es donen al llarg de la nit i a la matinada. Durant les hores de màxima radiació la relació baixa i torna a pujar a primeres hores de la tarda.

2.7. ESTUDIS INTENSIVS EN L'ESPAI (FALCA SALINA)

2.7.1. ESTRUCTURACIÓ VERTICAL A LA ZONA ESTUARINA

Tal com s'indicava en el primer capítol d'aquesta memòria la part baixa de l'Ebre presenta una zona redòfila, que s'estén fins més enllà de la ciutat de Tortosa, i una zona estuarina on els fenòmens de deposició es fan més importants i sobretot on la influència marina determina el comportament dels nutrients i de les comunitats.

Si amb cabals importants (>400 m³.s⁻¹) el riu és homogeni sense diferències entre les aigües de superfície i fons, a mesura que és més reduït el cabal, més pot assimilar-se el funcionament del riu al d'un llac o un embassament, especialment si el cabal és inferior als 50 m³.s⁻¹. En aquestes condicions es produeix un augment de la sedimentació del material inorgànic i orgànic cap al fons. La sedimentació coincideix amb l'establiment de la falca salina de manera que trobem diferències de conductivitat importants segons l'origen de l'aigua, una capa superficial d'aigua dolça, una capa de fons d'aigua salada i una interfase relativament somera amb un gradient de conductivitat

important. Aquesta estructura no permet que les aigües de fons i superfície es barrejin, de manera que aquelles queden aïllades de l'atmosfera. Amb l'aportació important cap al fons de materials orgànics es produeix un consum d'oxigen que pot arribar a esgotar-se en certes zones. Aquest perfil vertical s'observa també en altres variables com la concentració de material en suspensió, la concentració de nitrats, amoni i fosfat, tal com ja explicàvem en anteriors apartats, i també com en la concentració de pigments i en el comportament de les comunitats com veurem més endavant.

La intensitat del procés descrit no sembla ser la mateixa per tota la zona estuarina del riu a causa de diferents factors que poden crear certa heterogeneïtat. Cal aclarir encara les particularitats del procés de la falca salada amb estudis més detallats en l'espai que el fet fins ara.

2.7.2. LA FALCA SALINA I ELS SEUS CANVIS EN UNA SITUACIÓ DETERMINADA

2.7.2.1. Metodologia

El dia 31 de juliol de 1987 es va mostrejar intensivament la situació de la falca salina (fig. 57), a les estacions d'Amposta, l'illa de Gràcia, l'illa de Buda (localitzada a 5 km de la desembocadura) i la desembocadura. Es va agafar aigua a diferents fondàries per situar el límit entre l'aigua dolça i l'aigua de mar. Es va mesurar la conductivitat i la temperatura, l'alcalinitat, l'oxigen, els nutrients (nitrat, nitrit, amoni i fosfat), el material en suspensió i la matèria orgànica, el C, N i P particulat i els pigments (clorofil·la a i índex 430/665).

2.7.2.2. Resultats

Segons el perfil de conductivitat (fig. 57), durant el període estudiat l'aigua salada que entra per sota de l'aigua del riu arribava fins a l'illa de Gràcia. Si observem els valors de la conductivitat en el sentit vertical (fig. 58b) podem diferenciar tres capes, una de superficial de conductivitat baixa entre 6.57 mS.cm⁻¹ a la desembocadura fins a 0.95 mS.cm⁻¹ a Amposta; una segona capa, que correspon a la interfase entre l'aigua dolça i salada, on es produeixen fenòmens de barreja de les dues capes d'aigua i que es troba a diferent profunditat segons la distància a la desembocadura: a la desembocadura la trobem a 2 m (39.9 mS.cm⁻¹) en canvi a l'illa de Gràcia es troba a 3.75 m de la superfície (29.3 mS.cm⁻¹); i la tercera capa, que és la més fonda, on la conductivitat arriba a valors típics d'aigua de mar (54.8 mS.cm⁻¹). Observem, doncs, que existeix un gradient important de salinitat en l'eix vertical entorn dels 3 m que correspon a una

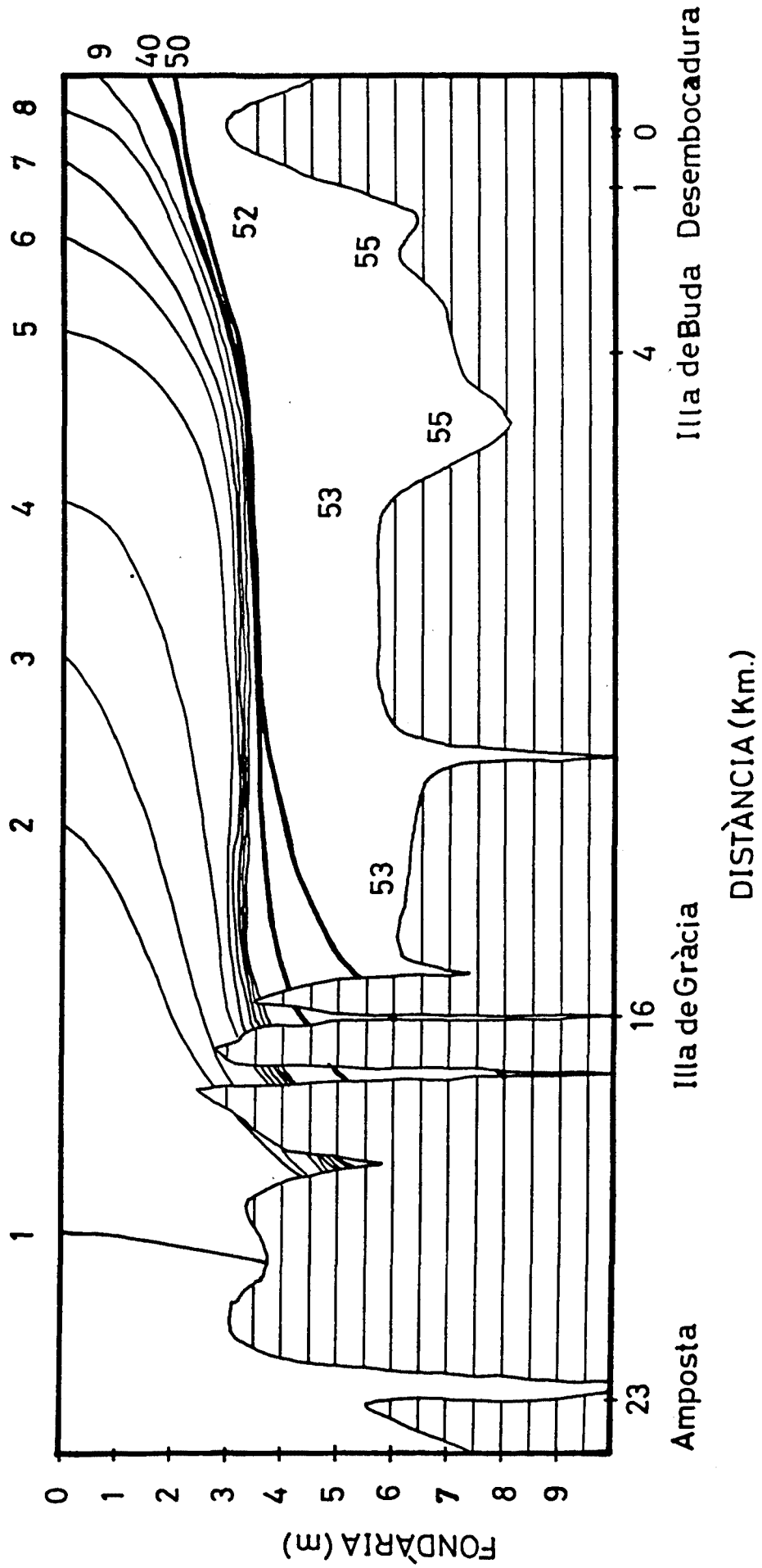


Fig. 57 : Perfil de conductivitats (mS.cm⁻¹) a la part baixa del riu en el mes de juliol de 1987.

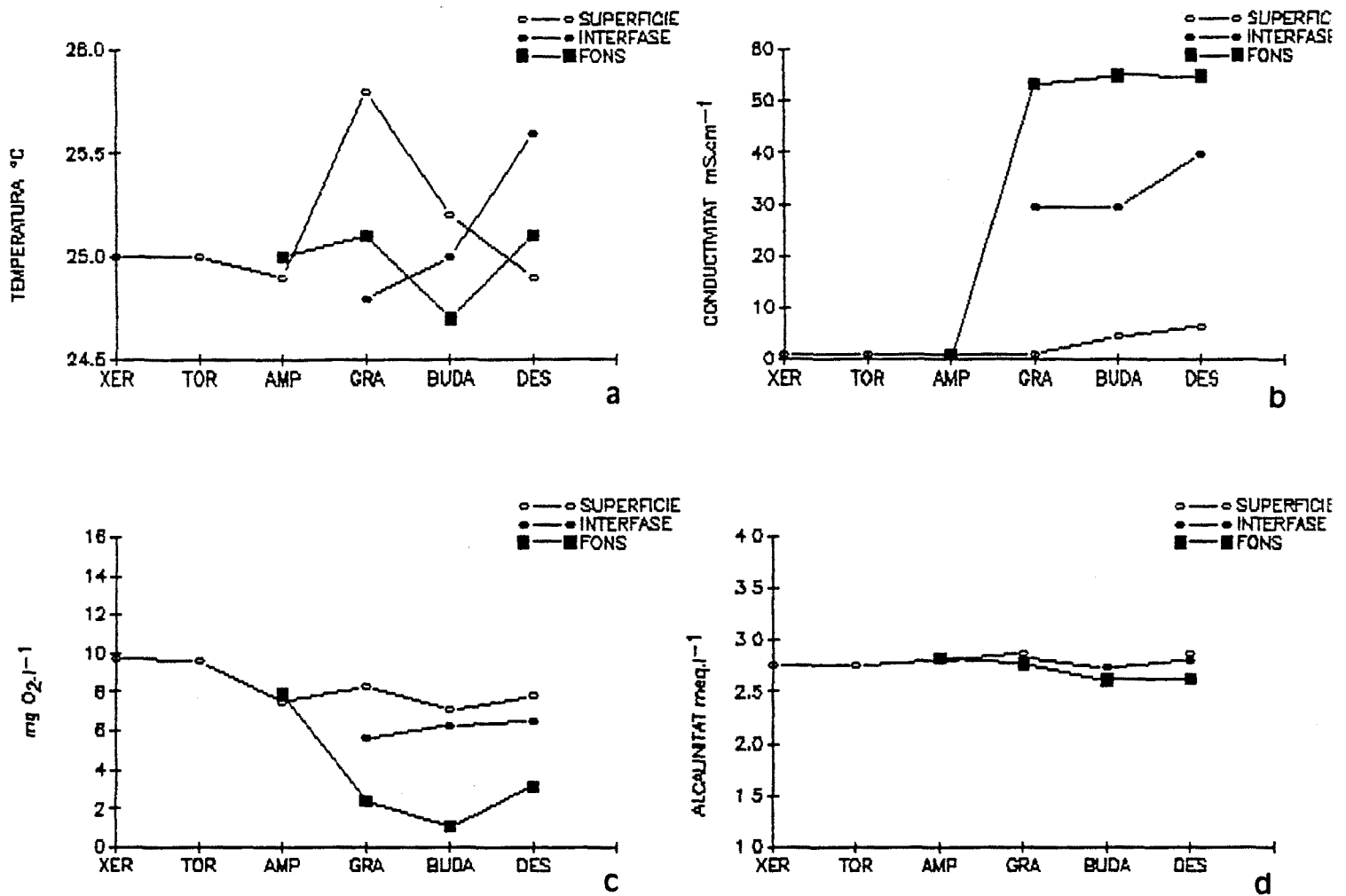


Fig. 58 : Variació longitudinal i vertical de les diferents variables a la part baixa del riu a l'estiu de 1987: a) temperatura; b) conductivitat; c) concentració d'oxigen; d) alcalinitat.

interfase que separa dues capes d'aigua de densitat diferent.

Factors físico-químics

La temperatura és superior a la superfície de les estacions de Gràcia i Buda (fig. 58a), mentre que a la desembocadura les aigües de la interfase i del fons són més calentes, tot i així les diferències són petites, entre 0.5-1 °C. Poden existir petites diferències perquè els mostreigs no es van fer a la mateixa hora a totes les estacions.

L'alcalinitat pren valors semblants a les tres capes (fig. 58d) i al llarg de tota la falca només petites diferències a Buda i la desembocadura al fons es relacionen amb una participació més important de l'aigua de mar.

L'oxigen presenta un perfil vertical important (fig. 58c), mentre que a la superfície la concentració és d'uns 8 mg.l⁻¹ (proper al 100 % de saturació) a la interfase la concentració baixa i es fa mínima (20 % de saturació o menys) al llarg del fons de les tres estacions que presenten falca més o menys permanent durant aquest període. Al fons de la desembocadura la concentració d'oxigen augmenta respecte a les altres estacions. Aquest dèficit d'oxigen l'hem observat tant a Amposta com a l'illa de Gràcia durant el període d'estiatge però no a la desembocadura, relacionat sens dubte amb una major renovació de l'aigua per un procés de circulació.

Nutrients

Com ja succeïa a Amposta i Gràcia amb presència de falca salina, l'estudi d'aquesta de forma extensiva ens mostra un increment de fòsfor en forma d'ortofosfat i d'amoni (fig. 59a,b). Les concentracions augmenten des de la superfície al fons i les diferències són més importants a l'illa de Gràcia i Buda. A la desembocadura l'hidrocinamisme de l'aigua fa que les concentracions siguin més properes.

El nitrat presenta també un perfil amb concentracions altes a la superfície i mínimes al fons. Les aigües de fons presenten també concentracions de nitrit més baixes que les de superfície però mai del mateix ordre que en el cas dels nitrats (fig. 59c, d).

Carboni, nitrògen i fòsfor particulat

La concentració de carboni i nitrogen particulats no presenta un comportament clarament diferenciable entre les tres capes (fig. 60a, b). Si en algunes estacions sembla que existeix certa acumulació a la interfase, al fons la concentració és més baixa. En tots

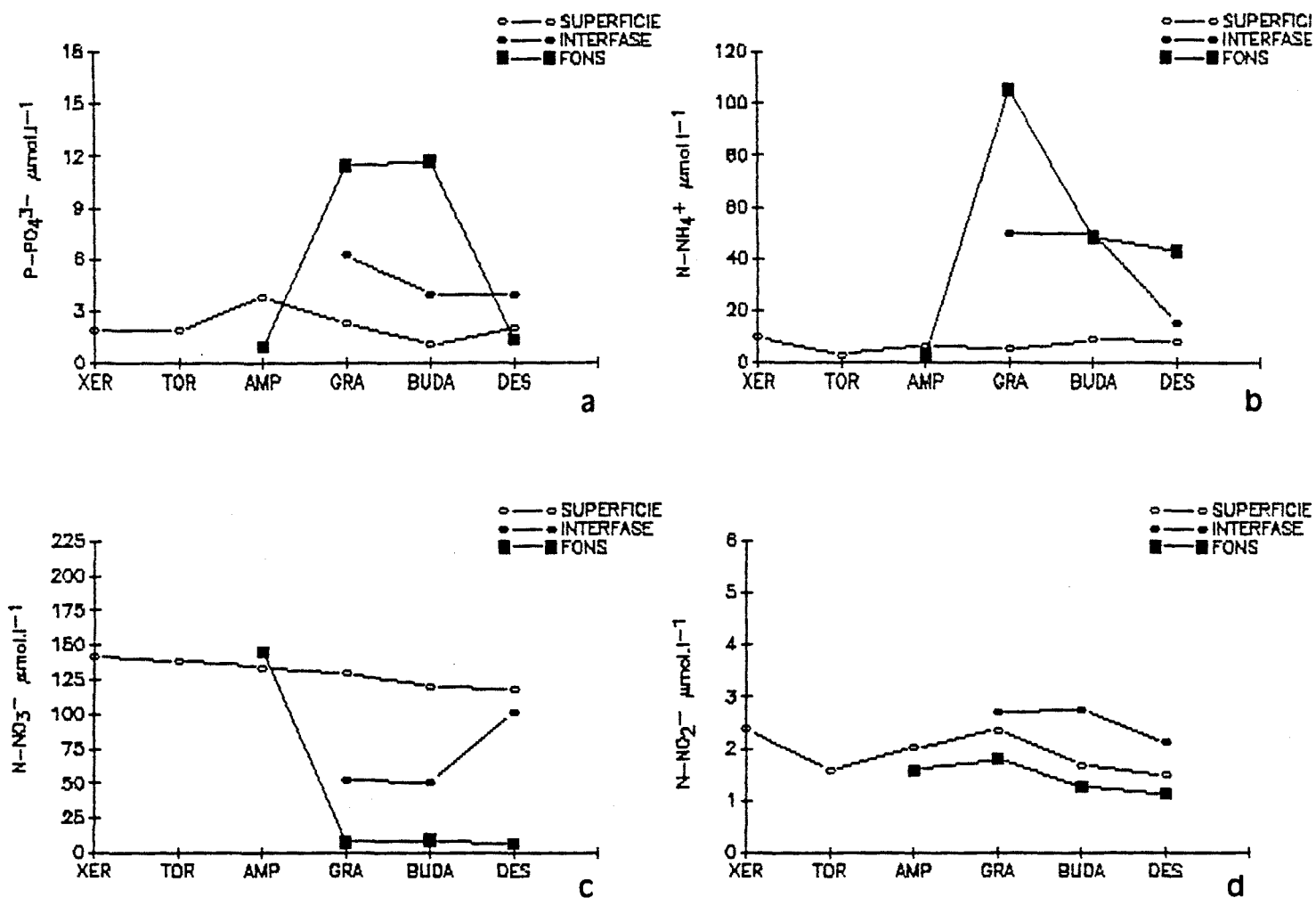


Fig. 59 : Variació longitudinal i vertical de les diferents variables a la part baixa del riu a l'estiu de 1987: a) concentració de fosfats; b) concentració d'amoni; c) concentració de nitrats; d) concentració de nitrits.

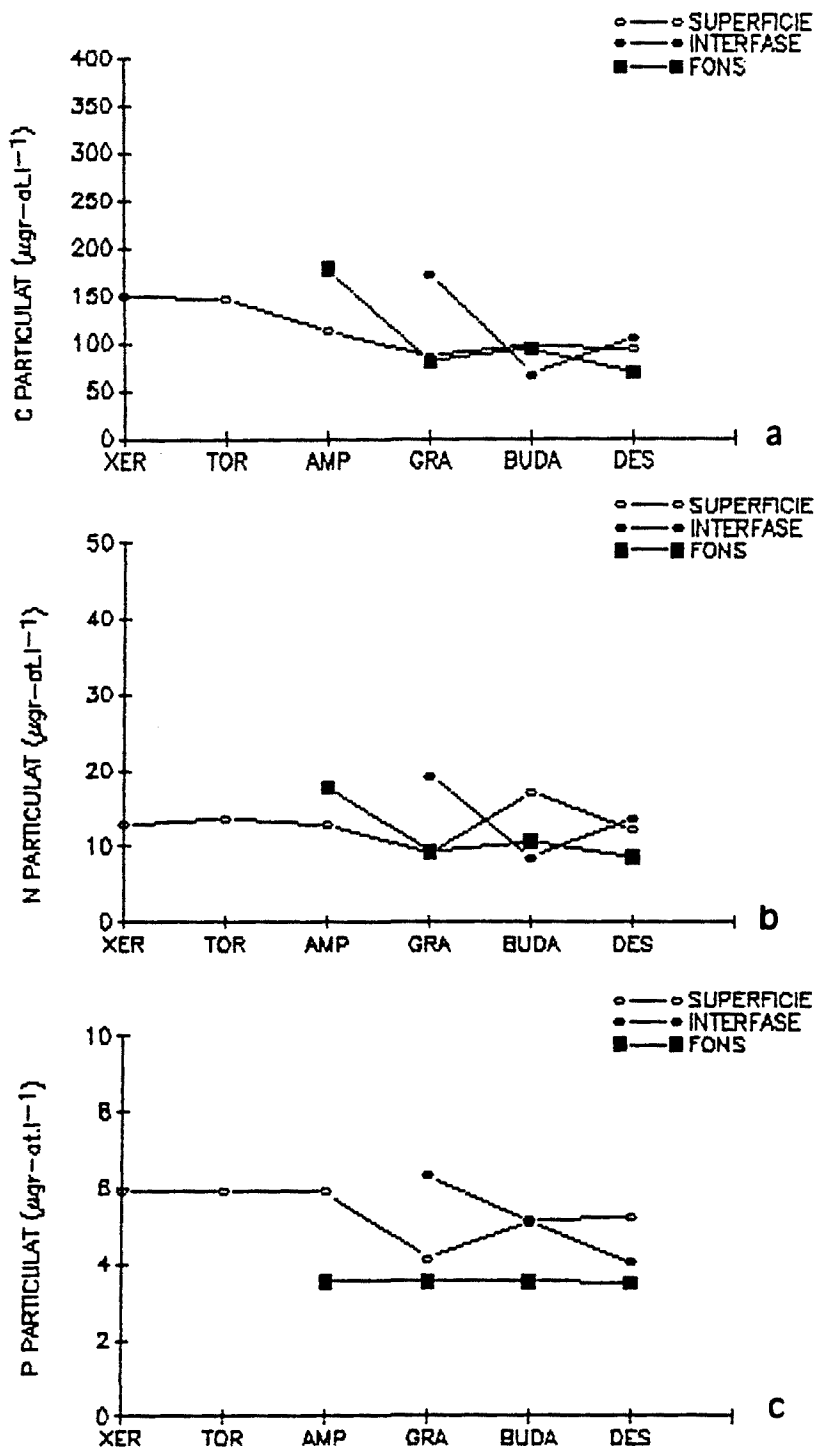


Fig. 60 : Variació longitudinal i vertical de les diferents variables a la part baixa del riu a l'estiu de 1987: a) carboni particulat; b) nitrogen particulat; c) fòsfor particulat.

els casos les diferències són molt petites.

En el cas del fòsfor particulat (fig. 60c) les concentracions de fons són sempre inferiors de l'ordre d' $1 \mu\text{gr-at.l}^{-1}$ menys. A la interfase hi ha una certa acumulació a Gràcia i Buda però torna a baixar a la desembocadura.

Pes sec i matèria orgànica

A la part més baixa del riu sempre predomina el procés de sedimentació. Això es veu reflectit en el fet que els valors de pes sec en superfície són inferiors als d'interfase o fons, especialment a Gràcia i Buda (fig. 61a).

Tant el pes sec com la matèria orgànica presenten un patró de comportament similar (fig. 61b). En superfície els valors són molt constants al llarg de totes les estacions però cap al fons trobem una primera acumulació a la interfase amb màxims a l'estació de l'illa de Buda i mínims a la desembocadura. Anant cap a fons l'acumulació continua augmentant des d'Amposta fins a l'illa de Buda i torna a disminuir a la desembocadura.

La matèria orgànica que ve aigües amunt i la que resulta de la pròpia producció primària de la zona estudiada fa que la concentració d'aquesta en aquest tram sigui important. El mateix funcionament d'un riu amb processos d'erosió a la capçalera i d'acumulació a les parts més baixes fa que en aquest tram siguin molt importants els processos de sedimentació, agreujats per l'entrada de la falca salina que afavoreix la retenció de material a la picnoclina. A mesura que ens apropem a la desembocadura el mateix hidrodinamisme de l'aigua de mar fa que els valors s'acostin més als de superfície i no hi hagi una acumulació tan important.

Clorofil.la a i índex D430/D665

La clorofil.la és un pigment làbil que se sintetitza ràpidament i que també es degrada fàcilment quan les condicions no són favorables. Per aquesta raó és a la superfície on es troben els valors màxims en totes les estacions (fig. 61c), i a la interfase i al fons la concentració és més baixa. En les estacions de superfície trobem les concentracions més baixes a l'estació de Xerta (14.8 mg.m^{-3}).

La picnoclina retarda la velocitat de sedimentació de les poblacions a causa de l'elevat gradient de densitat, i per això els organismes s'hi acumulen. Es per això que a la interfase hi ha acumulació de material (fig. 61c) i els valors són més alts que en el fons. A mesura que baixem, la clorofil.la ja està totalment degradada i la concentració és

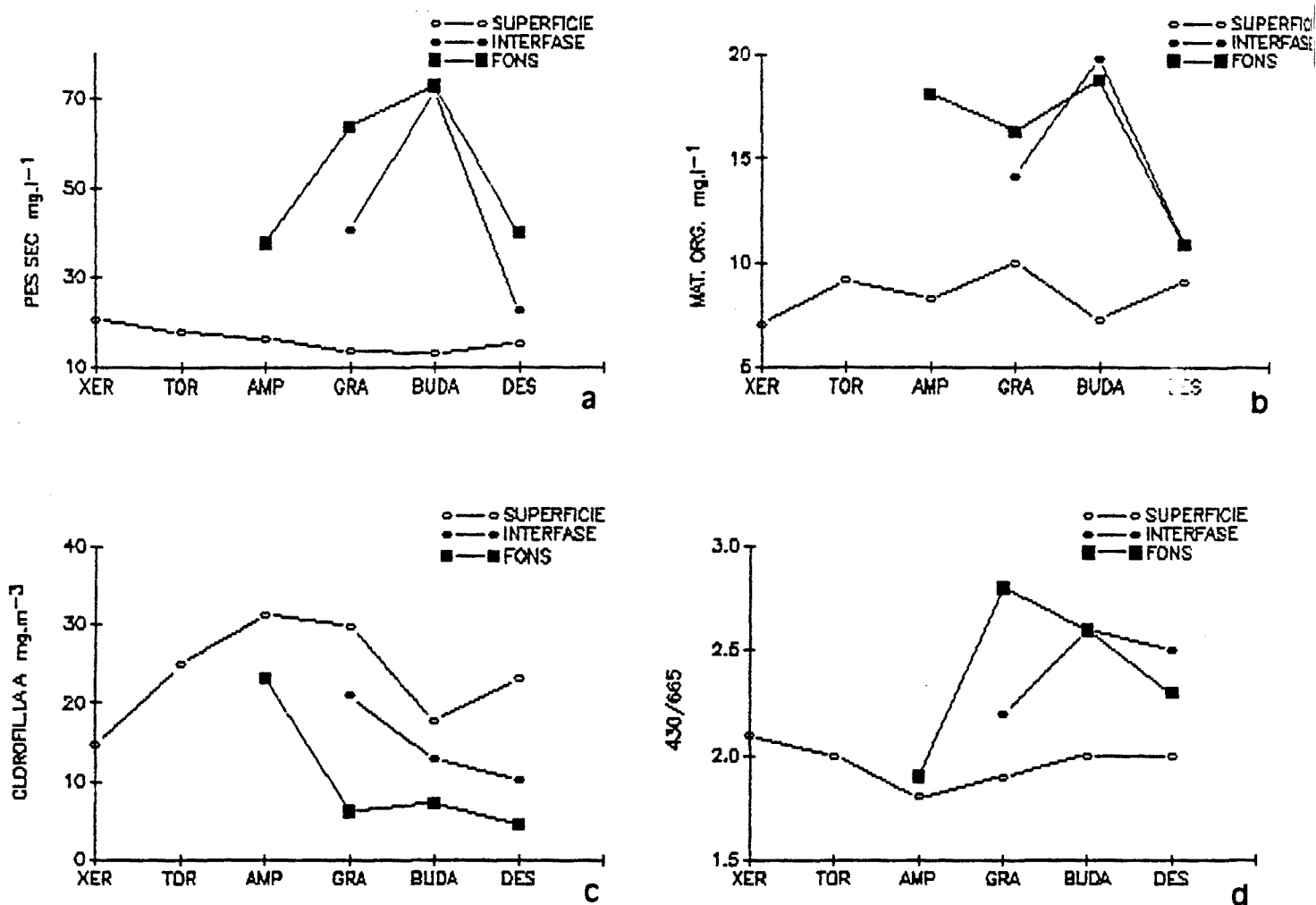


Fig. 61 : Variació longitudinal i vertical de les diferents variables a la part baixa del riu a l'estiu de 1987: a) material en suspensió; b) concentració de matèria orgànica; c) concentració de clorofil·la a; d) índex D430/D665.

baixa.

A la figura 61d s'observa que els valors més baixos de l'índex D430/D665 es donen a nivell de la superfície, on es troba la població més jove, de taxa de renovació alta. La interfase i el fons tenen un índex més alt, provenen de la sedimentació i en aquests nivells ja no es reproduïxen activament, la concentració de clorofil·la activa disminueix i augmenten els pigments degradats, la qual cosa fa que l'índex sigui més elevat que a la superfície.

Al llarg del riu els valors de superfície es mantenen al voltant de 2, a nivell de la interfase s'observa un augment a mesura que la falca salina es va consolidant.

2.8. CONCLUSIONS

Amb tot el que hem dit fins ara, ens preguntem quins són els elements que determinen les característiques físico-químiques de les aigües de la part baixa de l'Ebre i les modificacions que pateix el flux d'aigua a través de la seva circulació pel riu o per la xarxa de canals de reg fins que arriba al mar. En el riu l'estacionalitat determinada alhora per la temperatura i les diferències de cabal és un dels factors més importants i per tant de més influència, de forma que temperatures altes i estiatges acusats determinen la formació de la falca salina que és clau per entendre el comportament del riu i que ens ha dut a proposar l'existència de dues zones a la part baixa de l'Ebre, la reòfila i l'estuarina. En la xarxa de canals l'aigua està sota la influència dels terrenys que travessa i de les activitats que en aquests es faci. Camps d'arròs i llacunes són sistemes amb una certa producció que actuaran com a transformadors de la composició de l'aigua de què partíem en un inici.

A fi de determinar més clarament de quina manera aquests factors incideixen sobre la variabilitat espacial i temporal de la composició físico-química del riu, s'ha realitzat un tractament multivariable de les dades tal i com altres autors han fet (ESTRADA, 1975; CUSHING et al., 1980). Hem representat gràficament les correlacions estadístiques múltiples entre les diferents variables per no exposar la matriu, que seria difícil d'interpretar. Els resultats s'expressen primer conjuntament per totes les dades i després, amb les dades separades, per grups prèviament establerts. Les dades han estat normalitzades per aquelles variables que no presentaven una distribució normal.

L'anàlisi de les correlacions significatives ($p > 0.001$) ens permetrà estudiar quines d'aquestes correlacions poden descriure més bé certes relacions entre variables. Les variables considerades es disposen més tard sobre els dos eixos principals de l'anàlisi de

components principals.

L'esquema de les correlacions obtingudes per a totes les dades (fig. 62) ens permet veure com la temperatura i el cabal són els paràmetres que tenen més relacions amb les altres variables. L'alcalinitat, els nitrats, els nitrats i l'oxigen, amb correlacions positives amb el cabal però negatives amb la temperatura, determinen una disminució general en la seva concentració quan el cabal és baix i màxima la temperatura. Aquesta estacionalitat es fa més evident amb la correlació positiva de la temperatura i el fòsfor particulat que era més elevat a l'estiu (fig. 46). Les concentracions de sòlids en suspensió i matèria orgànica són també més importants a l'estiu, especialment a les estacions de fondària. Aquests paràmetres estan alhora fortament relacionats de forma negativa amb l'oxigen i els nitrats. Aquestes relacions indiquen l'efecte de la presència de la falca salina amb dèficits d'oxigen i nitrats i l'acumulació de matèria orgànica i sòlids en suspensió.

El nombre de correlacions significatives es redueix molt quan considerem només les èpoques amb cabals baixos de l'estiu (fig. 63). Les correlacions positives entre l'amoní, els sòlids en suspensió i la matèria orgànica indiquen acumulació amb el consegüent consum d'oxigen i d'altres formes oxidades (nitrats, nitrats).

Quan el cabal presenta valors mitjans més alts propis de l'hivern, la tardor i part de la primavera, els nutrients mantenen una forta relació entre ells (Fig. 64) i amb l'oxigen, i estan també determinats, com pasava amb el conjunt de les dades, pel cabal i la temperatura. La concentració dels nutrients en forma particulada està correlacionada negativament amb el cabal i l'oxigen, a cabals més alts la concentració baixa.

Totes aquestes relacions ens refermen la importància de la marcada estacionalitat que s'ha vist al llarg de tot l'estudi, caracteritzada per un consum de nutrients en forma dissolta i un increment de les formes particulades a l'estiu, tot això acompanyat dels efectes propis de la falca salina repetidament exposats.

Si distribuïm les dades en dos nous grups, per una banda les estacions de superfície (Xerta, Tortosa, Amposta i desembocadura a la superfície), i per l'altra les de fons (Amposta i desembocadura al fons) es torna a repetir el mateix patró. A les estacions de superfície (fig. 65) l'estacionalitat determina la relació entre els paràmetres, i al fons (fig. 66), com era d'esperar, les correlacions més fortes resulten de l'acció de la falca en aquestes estacions.

Per tal d'acabar de perfilar aquesta imatge global dels factors que indiquen millor les condicions que es troben a la part baixa de l'Ebre, s'ha aplicat una anàlisi de components principals. Es van utilitzar totes les dades de les següents variables: temperatura, cabal, pH, alcalinitat, oxigen, nitrat, nitrit, amoní, fosfat, carboni, nitrogen i fòsfor particulats, sòlids en suspensió i matèria orgànica. Els tres primer factors generats expliquen un 76 % de la variància total (taula XXI). El primer factor ens explica el 39 % de la variància i

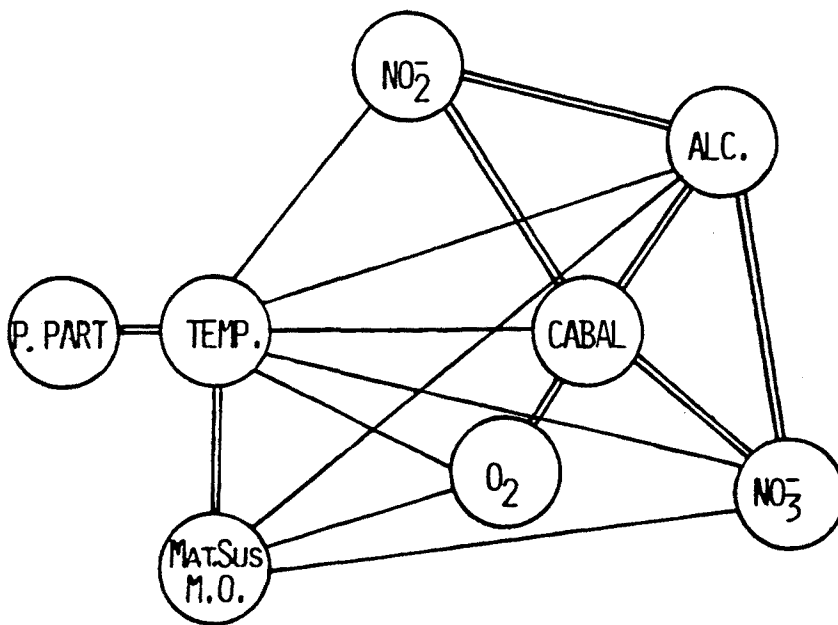


Fig. 62 : Correlacions significatives entre els paràmetres físico-químics mesurats a la part baixa del riu Ebre pel conjunt de les dades. Doble traç, correlacions positives; traç senzill, correlacions negatives.

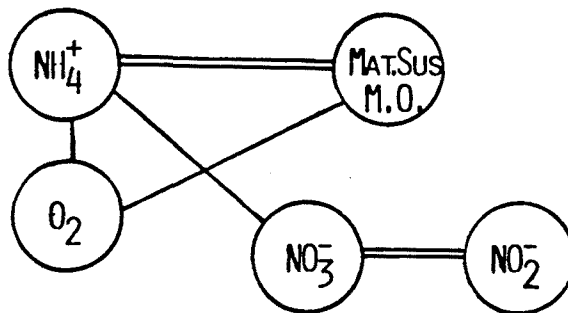


Fig. 63 : Correlacions significatives entre els paràmetres físico-químics mesurats a la part baixa del riu Ebre per les dades corresponents a les èpoques de cabals baixos (<150 m³.s-1) especialment de l'estiu. Doble traç, correlacions positives; traç senzill, correlacions negatives.

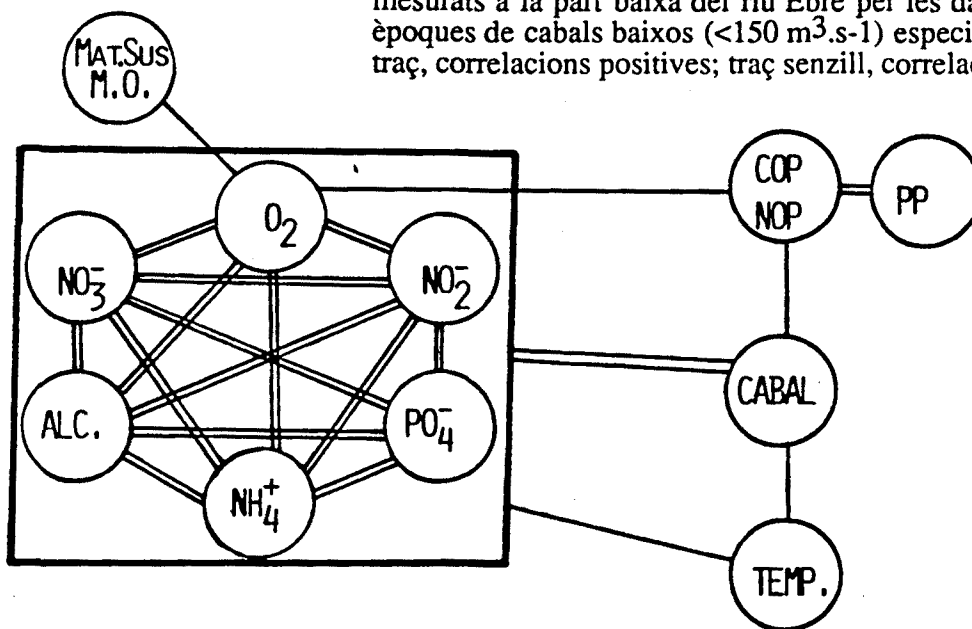


Fig. 64 : Correlacions significatives entre els paràmetres físico-químics mesurats a la part baixa del riu Ebre per les dades corresponents a les èpoques de cabals més alts (>300 m³.s-1) de part de l'hivern, primavera i tardor. Doble traç, correlacions positives; traç senzill, correlacions negatives.

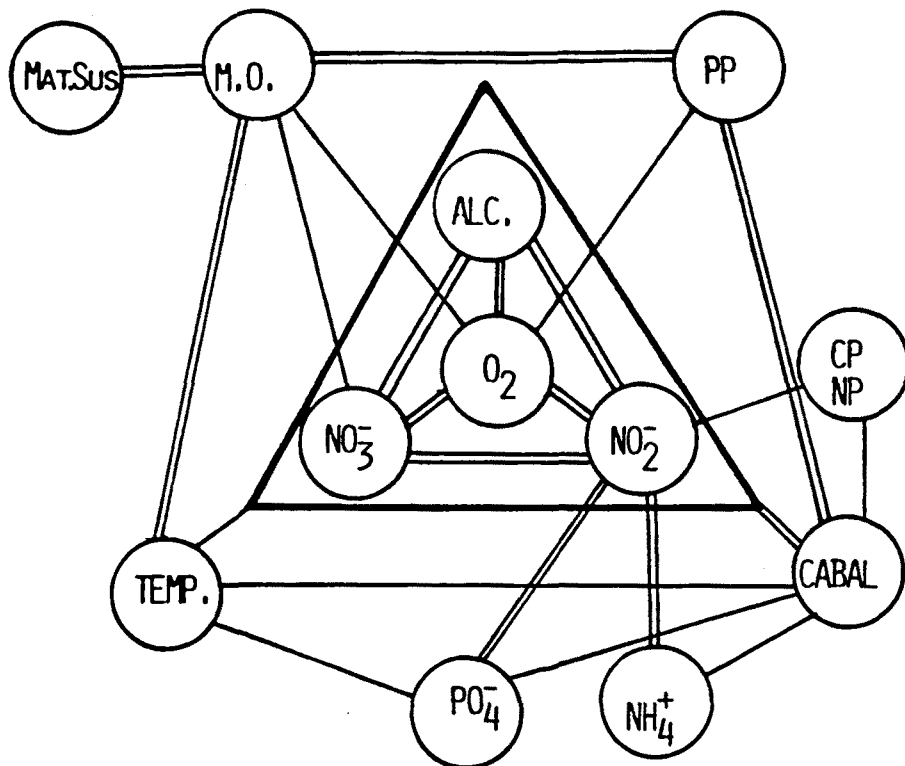


Fig. 65 : Correlacions significatives entre els paràmetres físico-químics mesurats a la part baixa del riu Ebre per les dades corresponents a les estacions de superfície. Doble traç, correlacions positives; traç senzill, correlacions negatives.

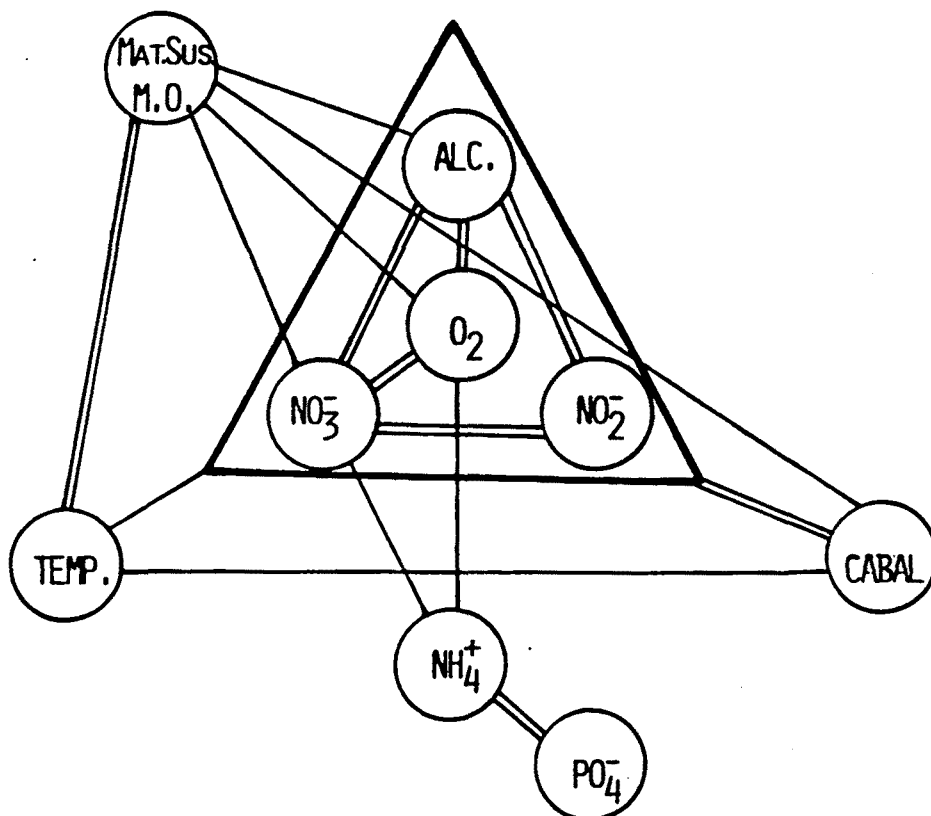


Fig. 66 : Correlacions significatives entre els paràmetres físico-químics mesurats a la part baixa del riu Ebre per les dades corresponents a les estacions de fondària. Doble traç, correlacions positives; traç senzill, correlacions negatives.

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
MAT. ORGANICA	0.769	0.424	-0.099
TEMPERATURA	0.763	-0.047	-0.176
MATERIAL SUSPENSIO	0.742	0.264	0.043
ICABAL	0.616	-0.114	-0.509
ALCALINITAT	-0.700	0.363	-0.040
OXIGEN	-0.807	-0.084	-0.174
NITRAT	-0.884	0.157	0.126
N PARTICULAT	-0.167	0.826	-0.406
C PARTICULAT	-0.193	0.812	-0.404
FOSFATS	0.144	0.545	0.443
AMONI	0.370	0.165	0.722
NITRIT	-0.389	0.165	0.650
P PARTICULAT	0.255	0.480	0.275
pH	-0.380	-0.019	-0.370
VP	4.613	2.354	2.031

Taula XXI : Relació de cada una de les variables emprades a l'anàlisi de components principals amb els tres primers factors. Anàlisi per les dades de totes les campanyes.

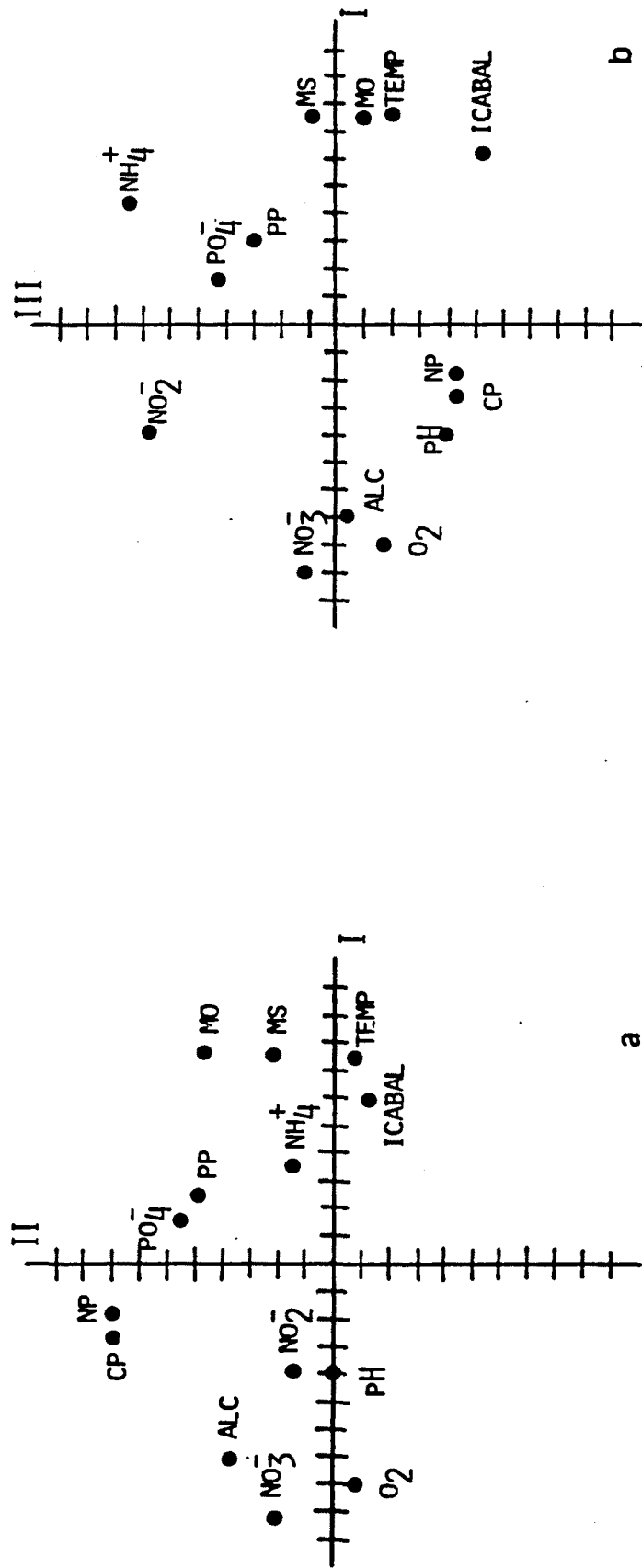


Fig. 67 : Situació de les variables en l'espai definit: a) pels dos primers factors; b) pel primer i tercer factor. Anàlisi de les dades de totes les campanyes de mostreig.

hi carreguen deu variables de les catorze totals. Amb càrrega positiva sobre aquest eix tenim la temperatura, la matèria orgànica, els sòlids en suspensió i l'amoní (fig. 67), és a dir, aquells paràmetres que presenten concentracions més altes quan hi ha falca salina a l'estiu a les estacions de fons. Amb càrrega negativa l'alcalinitat, l'oxigen, el nitrat, nitrit, pH i cabal. Aquest eix el podem definir com l'estiatge marcat especialment per la temperatura i el cabal i determinat pel desenvolupament de la falca salina. La presència d'aquesta és la variació més important que succeeix a la part baixa de l'Ebre, tal com indica l'anàlisi i que ja quedava reflectit quan explicàvem les variacions de cada paràmetre al llarg del cicle anual.

Al segon eix, que explica el 20 % del total de la variància, carreguen positivament el carboni i nitrogen particulats sense càrrega negativa per part d'altres variables. Això ens indica la diferència entre l'origen d'aquest material, ja sigui proporcionalment més important l'origen autòcton (fitoplàncton) o al·lòcton (detritus, vegetació de ribera...).

Si estudiem els factors de càrrega per al tercer eix veiem que positivament carreguen l'amoní, el fosfat, el nitrit, el fòsfor particulat i el cabal respecte al carboni i el nitrogen particulat i el pH, i expliquen el 17.1 % de la variació total.

Si l'estiatge és una de les característiques determinants en aquesta zona del riu, cal remarcar que aquest pot ser més o menys acusat segons l'estiu i pot també estendre's a altres èpoques de l'any segons la regulació que els embassaments facin del riu, amb la consegüent alteració de les condicions naturals d'aquest (VANOTTE, 1981; WARD i STANFORD, 1983, 1984, 1987; NICHOLS et al., 1986). També és important l'efecte que la regulació té a curt termini, com hem vist en els canvis que trobàvem al llarg del cicle diari. Les necessitats dels embassaments situats aigües amunt de la part estudiada són de tipus hidroelèctric. Això es tradueix en increments de cabal a la nit i a la matinada amb diferències principalment en el nivell de l'aigua i en el transport de material en suspensió, i també en una retenció global de l'aigua segons les condicions hídriques de l'any. Així pot haver-hi hiverns amb cabals tan baixos com els típics de l'estiu.

Un altre aspecte a assenyalar és l'efecte diferenciat que la intrusió de l'aigua de mar produeix al llarg de la part estuarina del riu. Si bé a l'estació d'Amposta o de l'illa de Gràcia l'aigua salada del fons sembla que té un temps de residència llarg, la desembocadura, per la proximitat al mar obert, presenta un hidrodinamisme important i una renovació ràpida que la diferencia de les altres estacions. Si comparem estadísticament les estacions estudiades a partir de la comparació de les seves mitjanes amb una anàlisi de la variància, les aigües de fons de la desembocadura es diferencien de les altres estacions per les següents variables: conductivitat, alcalinitat, nitrats, nitrits, fosfats, fòsfor i carboni particulats, concentració de pigments i relació D430/D665, amb un 99% de nivell de confiança, cosa que dóna una idea de les seves particularitats. Per la matèria orgànica i el material en suspensió se separen conjuntament les estacions de fons

d'Amposta i la desembocadura, indicació de l'acumulació per sedimentació.

El transport de material és també diferent des de les estacions reòfiles cap a les estuarines. El material en suspensió de les fraccions fina i grollera decreix aigües avall i es fa indetectable especialment per la fracció més gran d'1 mm. Les condicions físiques, tal com explicàvem en el primer capítol, són també força diferents. La part estuarina, amb una velocitat de corrent més lenta i una major superfície d'exposició a la llum, presenta un desenvolupament més important de la població fitoplànctònica. Això es reflecteix en un increment més evident de carboni i fòsfor particulat i de la concentració de clorofil·la a la part estuarina, especialment a l'estiu, i també en un comportament clarament estacional dels nutrients inorgànics dissolts relacionats estretament amb la producció primària. També hi ha diferències en les relacions C:N particulats molt propera a 7 a la part estuarina (relació per al fitoplàncton 106:16) i de 10 a les estacions reòfiles.

La quantitat de material transportat disminueix al llarg del riu. Verticalment també hi ha diferències entre les aigües de superfície i fons. La major part de la concentració de carboni i nitrogen que arriba al Mediterrani des de l'Ebre és en forma dissolta, mentre que en el cas del fòsfor la concentració en la forma particulada pot ser més important que la dissolta, especialment a l'estiu. Les concentracions mitjanes anuals són diferents per als dos anys, com ja observàvem en descriure cada paràmetre particularment. La descàrrega de cabal total anual, si bé va ser més gran al 1987, no implica un transport més important de nutrients. Anys amb una descàrrega anual similar però de característiques diferents poden resultar en diferents quantitats de material transportat (BLANCHARD i HAHL, 1987).

La descàrrega anual de carboni orgànic total ha estat calculada per a molts rius del món. Segons una aproximació de SCHESINGER i MELACK (1981), el transport de carboni orgànic per l'Ebre a partir de la seva descàrrega anual (fig. 68) ha de ser de l'ordre de 10000 Tm per any, valor que és força inferior al calculat durant el període estudiat (unes 46000 Tm). L'eutròfia del riu en pot ser responsable.

Comparant les dades de l'Ebre amb el Ròdan (EL-HABR i GOLTERMAN, 1987) trobem que les concentracions són proporcionals en ambdós rius respecte al cabal, és a dir, els dos rius amb cabals similars transportarien la mateixa quantitat de nutrients, excepte pel nitrogen i fòsfor particulats ja que l'Ebre en transporta proporcionalment dues vegades més que el Ròdan.

En els canals de reg l'aigua que arriba des del riu pateix uns canvis ben diferents als de l'aigua que segueix pel mateix riu. L'aigua, a mesura que travessa la xarxa de canals, perd oxigen i les formes oxidades dels nutrients (nitrat, nitrit, fosfat) baixen en concentració i incrementen les formes més reduïdes (amoni). El pH disminueix com a

conseqüència del desguàs d'aigua dels camps (COMIN, 1984) al final de l'estiu. També s'incrementa la concentració de sòlids en suspensió i la relació C:N, això indica un augment de material particulat més refractari de degradació difícil.

L'aigua que amb aquestes característiques arriba a les llacunes litorals és sotmesa a noves transformacions, entre elles una oxigenació important facilitada per la fàcil difusió de l'oxigen a causa de l'agitació provocada pels freqüents vents que hi ha a la zona, i per l'activitat biològica (COMIN, 1984). També s'observa un consum d'amoni i fòsfor especialment a finals de l'estiu i la tardor, conseqüència de la producció primària fitoplàntica (COMIN, 1984) i en el cas de la Tancada la presència de macròfits (MENENDEZ i COMIN, 1989). Les llacunes actuen també com a cubetes de sedimentació o "trampes" del material particulat més gran d'1 mm i com a exportadores de material ultrafí, inferior a 50 μ m. Cal destacar la importància que té el transport de material particulat en els canals, especialment en les fraccions més grolleres. Periòdicament es netegen les vores d'aquests canals on creix una abundant vegetació, que es llença directament als canals i arriba a la badia i a les llacunes. També és important el creixement massiu d'algues principalment cianofícies, en algunes èpoques de l'any, per això la concentració de la fracció grollera pot ser significativament més important que la fracció fina (50 μ m-1 mm) i ultrafina (<50 μ m).

Aproximadament el 80 % de l'aigua que arriba a la badia des dels canals de reg prové de dos canals, la sèquia de l'Ala i el desguàs general de característiques similars a l'anterior; la influència de la resta de canals és molt menys important. En general, juny i octubre són els mesos amb concentracions més elevades de nutrients als canals i es diferencien molt bé de la resta dels mesos en què els canals estan oberts. Aquests són mesos de màxim recanvi als camps d'arròs. El juny coincideix amb el període de l'adob anomenat adob foliar (FORES, 1989), i a l'octubre els camps comencen a buidar-se després de la collita.

Si bé l'aigua que segueix el riu no presenta modificacions importants, l'aigua que travessa la xarxa de canals presenta al llarg del seu trajecte una proporció de les formes dels nutrients molt diferent a la de partença, com podem observar a la figura 68, en el cas del fòsfor i del nitrogen.

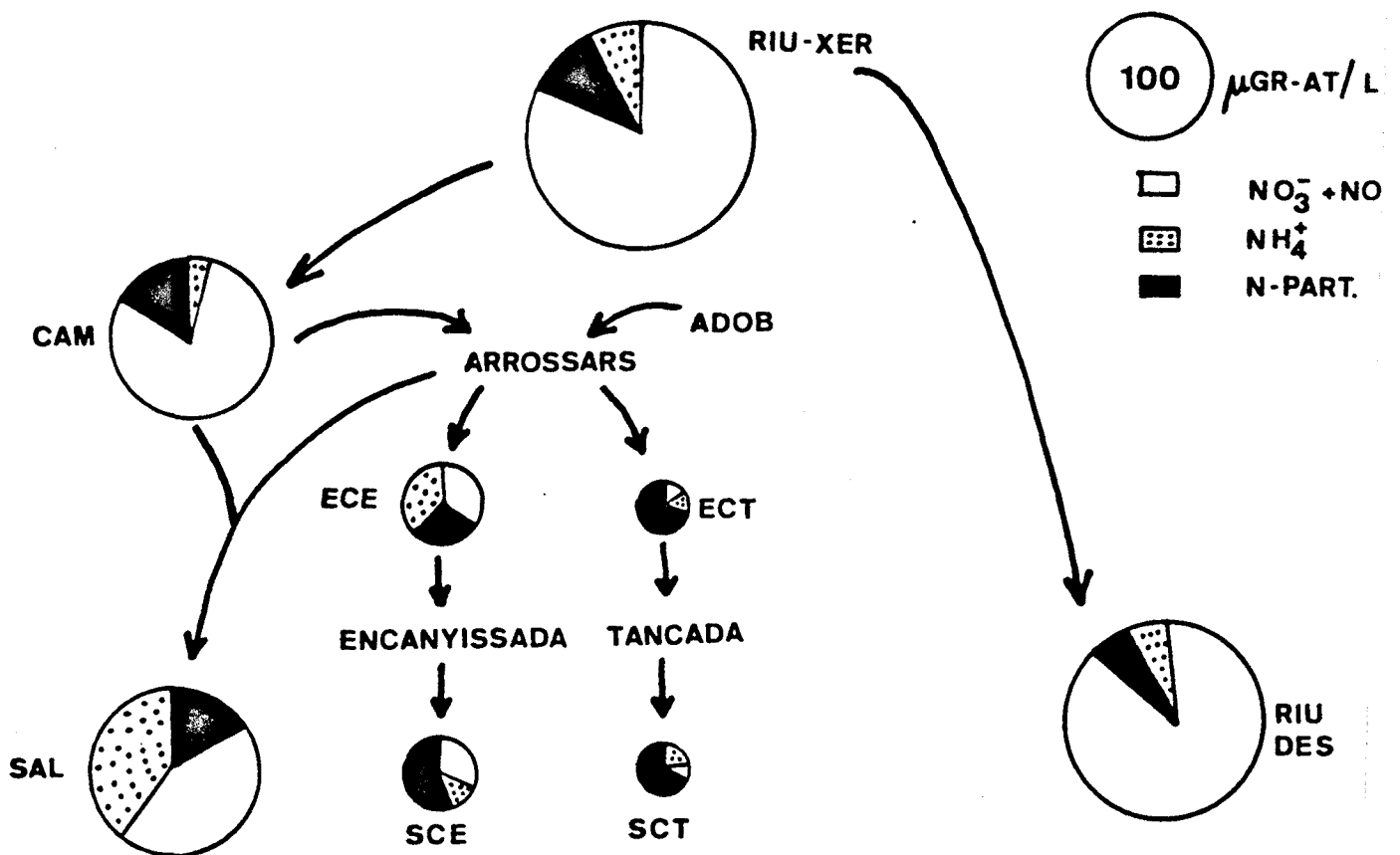
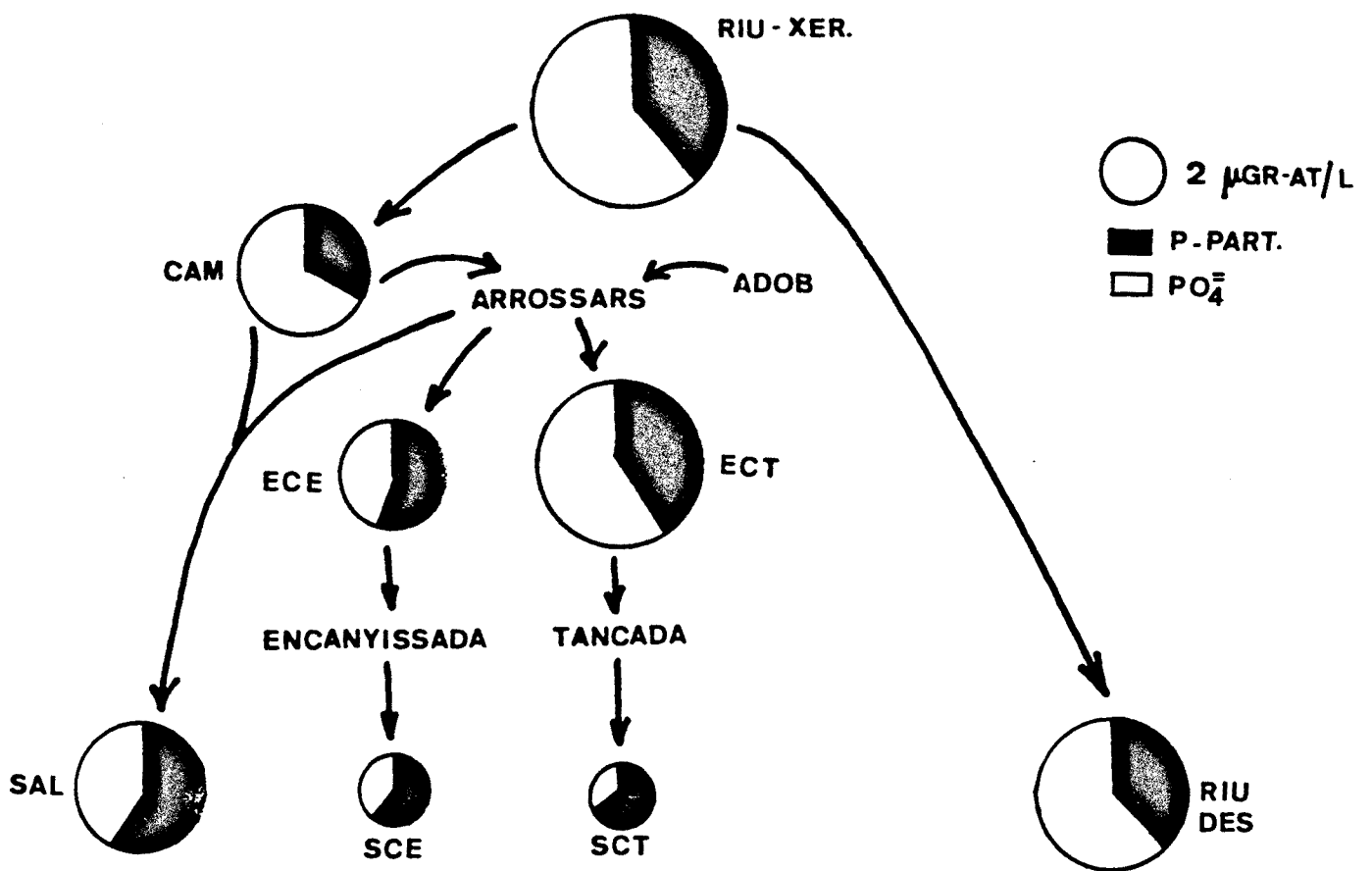


Fig. 68 : Esquema de la transformació de les diferents formes de fòsfor i de nitrogen a través del sistema deltaic.

3. LA COMUNITAT FITOPLANCTÒNICA

3.1. INTRODUCCIÓ

La composició del material en suspensió que porta el riu és aproximadament en un 50 % matèria orgànica i principalment cèl.lules fitoplanctòniques. Aquesta composició varia segons l'estació de mostreig i l'època de l'any, de forma que el fitoplàncton és més abundant a les estacions estuarines i als mesos de l'estiu. Un estudi detallat de la composició i evolució de la comunitat de fitoplàncton, en el temps i l'espai, ens donara una idea del comportament del material particulat d'origen orgànic, i de la resposta de la comunitat a les diferents condicions del medi, com la velocitat de corrent (diferent entre les estacions reòfiles i estuarines), els canvis estacionals, la presència de la falca salina, i altres característiques físico-químiques que hem anat detallant fins ara.

3.2. METODOLOGIA

Es van recollir mostres de fitoplàncton mensualment durant un any (des de l'octubre de 1986 a l'octubre de 1987) en les quatre estacions on també es van fer els mostreigs físico-químics (Xerta, Tortosa, Amposta i la desembocadura). Les mostres es recollien subsuperficialment (uns 20-30 cm des de la superfície) en ampolles de vidre de 250 ml, i eren immediatament fixades amb una solució de Lugol (I+KI en àcid acètic).

Posteriorment, al laboratori unes alíquotes (10-50 ml segons l'abundància d'organismes) de les mostres eren sedimentades segons la tècnica d'Utermöhl. La unitat de comptatge va ser la cèl.lula. En el cas de colònies o filaments el nombre de cèl.lules era la mitjana per a cada espècie i mostra. El comptatge del nombre de cèl.lules i la determinació de les espècies es va realitzar amb un microscopi invertit Wild M40, treballant principalment a 400 x. Per la determinació de les diatomees una part de la mostra va ser resuspesa amb aigua destil.lada, filtrada i muntada (Naphrax, i.r.= 1.74) en preparacions permanents. Algunes mostres van ser observades amb el microscopi electrònic d'escànnig (Hitachi 2300, operant bàsicament a 15 Kv) per una determinació definitiva.

Com a mesura de la concentració de pigments vem utilitzar la clorofil·la total (a, b, c1 i c2). Per determinar-la es va filtrar aigua del riu (entre 0.5-1 l.) a través d'un filtre de fibra de vidre Whatman GF/F (0.4µm de porus). Les concentracions van ser determinades per espectrofotometria després d'una extracció amb acetona al 80 %. Es van utilitzar les equacions de JEFFREY i HUMPHREY (1975). No es van fer correccions pels feopigments. Com un indicador ecològic de l'estat de la població fitoplanctònica es va fer servir l'índex de pigments D430/D665 (MARGALEF, 1983).

Es va fer una anàlisi de components principals per tal de compilar tota la informació i donar una imatge general de les condicions que determinen la distribució de la població de fitoplàncton. Les relacions entre les variables físico-químiques i el fitoplàncton van ser explorades a partir de regressions lineals.

3.3. CONCENTRACIÓ DE PIGMENTS I ÍNDEX D430/D665

La major part de les observacions de la concentració de clorofil·la en el fitoplàncton de les aigües dolces queden entre 0.1 i 100 mg de clorofil·la per m³ (MARGALEF, 1983) encara que en certes circumstàncies es poden trobar valors més alts .

L'índex de pigments D430/D665 determina la relació entre la clorofil·la a i els altres pigments. Normalment aquest índex incrementa quan ho fan també els productes de descomposició de la clorofil·la, quan hi ha un esgotament dels nutrients en el medi, les poblacions del fitoplàncton són poc actives i per tant hi ha un augment en la concentració de detritus. L'índex D430/D665 té només un valor d'indicador ecològic generalment poc precís. Dintre de les seves limitacions, les variacions d'aquest índex es poden relacionar amb la distribució de certes característiques del sistema, en general, l'índex és baix (proper a 2) quan predomina la clorofil·la a respecte dels altres pigments.

En el nostre cas, la concentració de clorofil·la es presenta per un cicle anual (octubre 1986-octubre 1987) en correspondència a l'estudi de fitoplàncton al riu. Té un comportament estacional marcat (fig. 69), especialment a la zona estuarina, amb valors baixos (<15 mg.m⁻³) els mesos d'hivern i màxims (entre 45-70 mg.m⁻³) a la primavera i principis d'estiu.

El primer pic que s'observa a l'abril a totes les estacions estaria lligat probablement als cabals alts propis d'aquest mes amb un arrossegament de les poblacions de fitoplàncton d'aigües amunt i fins i tot des dels embassaments. A l'estiu es troben concentracions que oscil·len entre els 15 i 40 mg.m⁻³ i són més importants a les estacions estuarines (Amposta $\bar{x}=26.6\pm 3.5$; desembocadura $\bar{x}=28.1\pm 4.5$) que a les

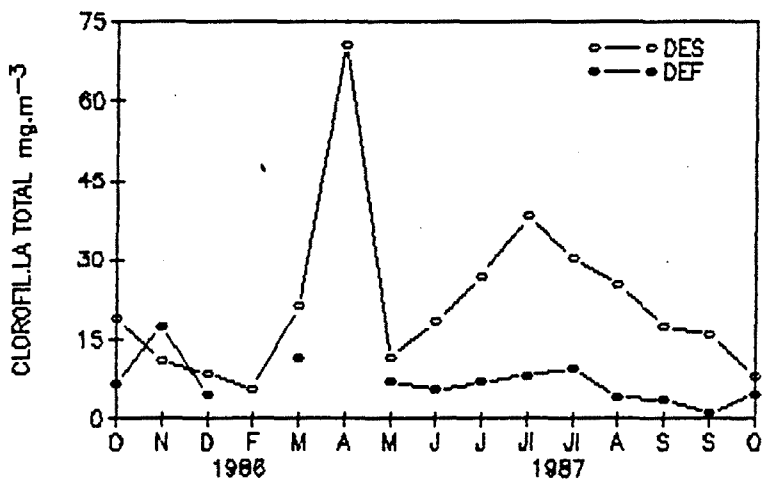
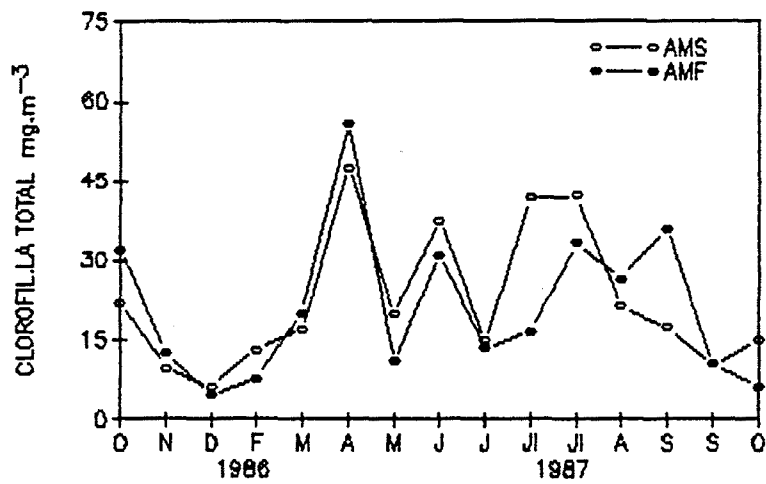
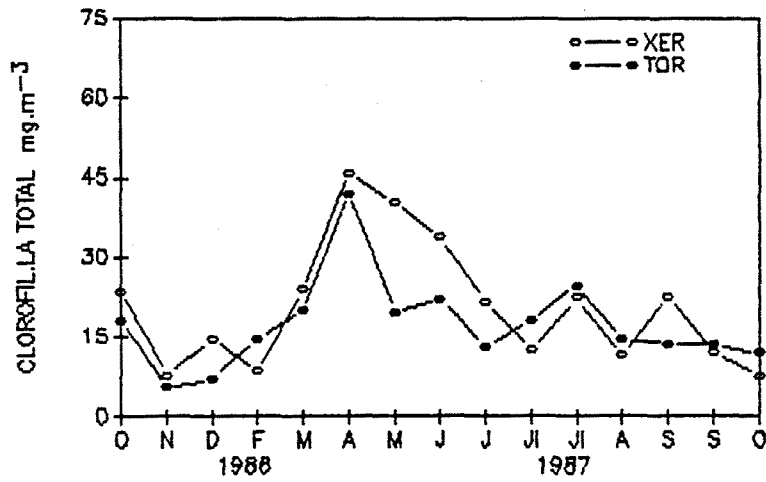


Fig. 69 : Evolució anual de la concentració de clorofil·la total (a, b, c1 i c2), a les estacions del riu.

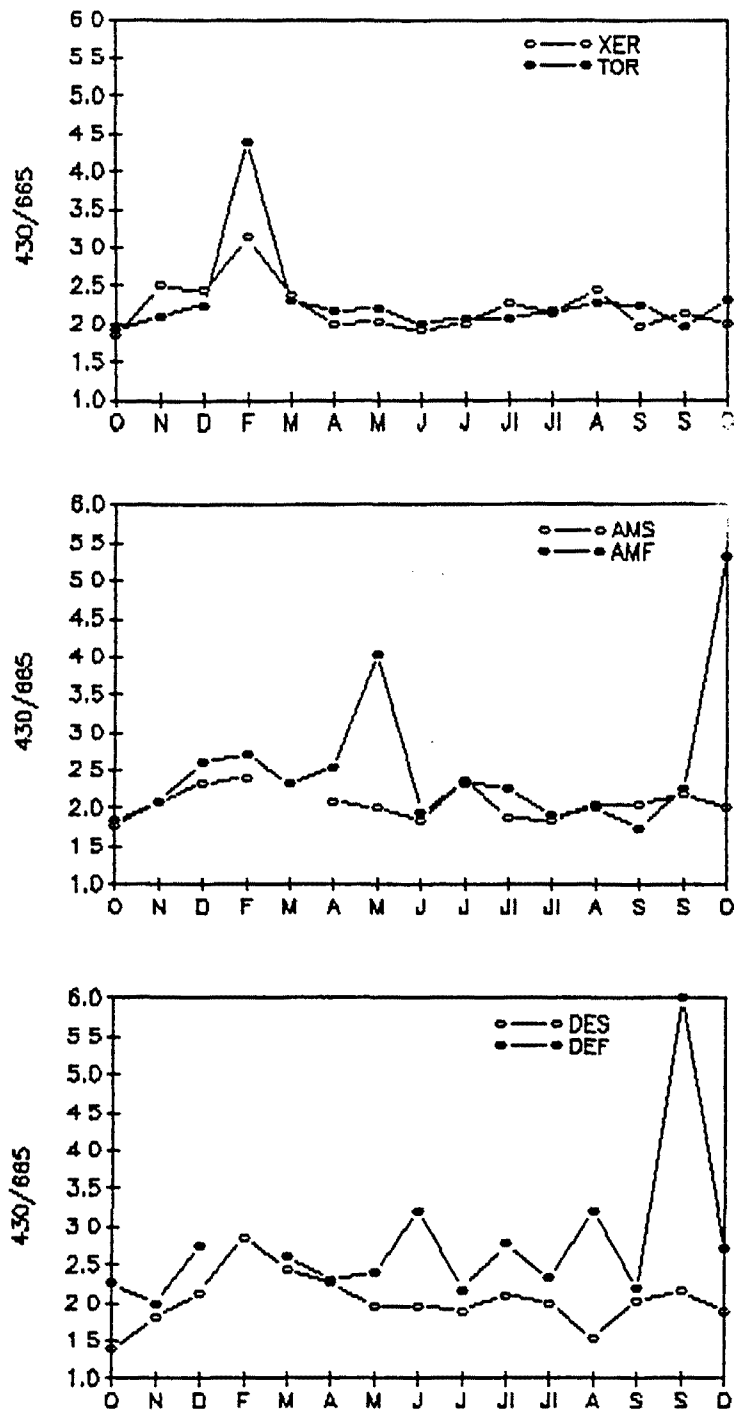


Fig. 70 : Evolució anual de l'índex D430/D665, per les diferents estacions del riu.

reòfiles. Els canvis de la clorofil·la en fondària també van ser estudiats. A l'estació d'Amposta la concentració és generalment similar ($x=25.9\pm 3.8$) a la de superfície, només ocasionalment la concentració és superior. Mentre que a les estacions reòfiles de Xerta i Tortosa la llum arribava fins al fons a l'estiu, a les estacions estuarines no era així. Les dades de la desaparició del disc de Secchi eren properes a 1 metre, així als 5-8 m de fondària no arribava gens de llum. Això indica que la concentració de clorofil·la en el fons té l'origen en la sedimentació des de la superfície, i per tant, n'és possible certa acumulació quan el temps de renovació de l'aigua és alt. A la desembocadura, al fons, la concentració és baixa ($x=7.95\pm 0.93$) durant tot el període; l'acumulació de fitoplàncton ha de ser escassa per l'hidro dinamisme de l'aigua en aquesta zona.

A les estacions de Xerta i Tortosa els valors de la relació D430/D665 són propers a 2 durant la primavera i l'estiu i al febrer l'índex s'incrementa en les dues estacions (fig. 70). A les estacions estuarines les oscil·lacions són més acusades, especialment al fons, amb valors extraordinàriament alts (superiors a 4) al maig i octubre a l'estació d'Amposta i a finals de setembre a la desembocadura. Això és coherent amb un increment de la concentració de detritus en el fons i una acumulació de productes de descomposició de la clorofil·la.

3.4. ABUNDÀNCIA I CANVIS ESPACIO-TEMPORALS DELS GRANS GRUPS FITOPLANCTÒNICS

Un total de 135 tàxons han estat determinats en el fitoplàncton de la part baixa de l'Ebre (taules XXII i XXIII). En nombre d'espècies les Bacillariophyceae (diatomees) són les més importants amb 59 tàxons, dels quals 18 pertanyen al grup de les Cèntriques. També són importants les diatomees pennals però presenten sempre un nombre d'individus molt baix, la majoria són d'origen bentònic. Les Chlorophyceae (algues verdes) estan representades per 54 espècies i les Cyanophyceae (cianofícies), per 15. Altres grups taxonòmics estan poc representats: Dinophyceae (dinofícies), tres tàxons, Euglenophyceae (euglenofícies), dos tàxons i Cryptophyceae (criptofícies), un tàxon.

La densitat del fitoplàncton (fig. 71) és baixa en les quatre estacions durant l'hivern (des de novembre a febrer) amb valors que oscil·len de 1100 a 5100 cèl·lules/ml. A mida que avança el cicle anual la densitat es va incrementant contínuament fins als màxims d'estiu, de 19000 a 72000 cèl·lules/ml, amb un màxim extraordinari de 104000 cèl·lules/ml a Amposta al setembre. Es trobem mínims al maig principalment a

	Oct.	Nov.	Dec.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.
<i>Actinocyclus normanii</i>												
<i>f. subsalsus</i> (Jublin-Daunfelt) Hust.											7	81
<i>Achnanthes lapponica</i> Hustedt	1										1	
<i>A. minutissima</i> Kütz.												
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerh.						88		4		4	84	
<i>Amphora ovalis</i> Kütz.	14	9	53	3	1		36					7
<i>Anabaenopsis nadsonii</i> Voronich.	280	20										140
<i>Anabaena verrucosa</i> Boye-Pet.		3220									840	140
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs.	1	14		3		1	74	1	1	22	21	
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	364		632	4440	912				8	8		8
<i>Aulacosira granulata</i> (Ehr.) Simonsen & var. <i>angustissima</i> (O. Muller) Simonsen	1384	287	158	18						362	363	417
<i>Campylodiscus noricus</i> Ehr.						1						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F. Müller) Schrank										1		
<i>Closteriopsis longissima</i> (Lemm.) Lemm.		1					1	55	1	1		14
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	1								27		64	
<i>Coelosphaerium kutzingianum</i> Näg.				20								560
<i>Coelastrum astroides</i> De-Not.	224								328	520		50
<i>C. microporum</i> Näg. in A.Br.	8							8	2632	696	1712	280
<i>Cosmarium vexatum</i> W. West					1						21	
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchn.) W & G.S. West		36	4	4	28	88				4		
<i>Crucigeniella spiculata</i> (Lemm.) Kom.	6									246	132	42
<i>Cryptomonas</i> sp.		46	1		45	134		250	27	1	193	14
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	1				7		36	278		152	21	
<i>Cyclotella</i> sp. pl. and other Centrales*	2031	69		39	1636	6413	4166	7810	1084		1180	319
<i>Cymatopleura solea</i> (Bréb.) W. Smith			1	1								
<i>Cymbella aspera</i> (Ehr.) Cleve									1			
<i>C. minuta</i> Hilse ex Rabh.				1								
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck											386	
<i>Diatoma vulgare</i> Bory						1	74	1	1			
<i>Dicellula planctonica</i> Suir.										44		
<i>Dictiosphaerium pulchellum</i> Wood							696	108			168	28
<i>Euglena</i> sp.						1	74			1		7
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières		14										
<i>F. construens</i> (Ehr.) Grun.				9								
<i>F. vaucheriae</i> (Kütz.) Boye-Petersen								1				
<i>Golenkiniopsis parvula</i> (Voronich.) Kors.									14	65		
<i>Gomphonema constrictum</i> Ehr.											1	
<i>Gymnodinium</i> sp.		51										21
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabh.	1	1	1	3							1	
<i>Kirchneriella subcapitata</i> Kors.	57							1		1		
<i>K. contorta</i> (Schmidle) Bohl.					7				1	1		
<i>Lyngbya</i> sp.											30	35
<i>Melosira varians</i> C.A. Agardh	28			21				1	41		64	14
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann										1		
<i>Micractinium pusillum</i> Fres.	14							1				
<i>Microcystis flos-aquae</i> (Wittr.) Kirchn.										660		
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Kom.-Legn.							74					
<i>M. griffithii</i> (Berk.) Kom.-Legn.	1											
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.											42	
<i>N. cryptocephala</i> v. <i>axilis</i> Kütz.		14			15			27	1		21	
<i>N. gregaria</i> Donkin									110	1		
<i>N. lanceolata</i> (Agardh) Cl.		1	1	1	15	89	258	83				
<i>N. tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory		4	1	57	84	22			27		42	14
<i>N. viridula</i> (Kütz.) v. <i>rostellata</i> (Kütz.) Cl.	1											
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz.) W. Smith	14	1				22	36	1			21	
<i>N. acula</i> Hantzsch.		4									1	
<i>N. dissipata</i> (Kütz.) Grun.												
<i>N. linearis</i> W. Smith		4		3			1	1	1	87	150	
<i>N. linearis</i> W. Smith		4		3			1	1	1	87	150	
<i>N. longissima</i> (Bréb.) Ralfs	1										12	
<i>N. palea</i> (Kütz.) Grun.							74	27	14		64	
<i>N. romana</i> Grun.		4		15	1				96			1
<i>N. sigma</i> (Kütz.) W. Smith		1	1	6								
<i>Oocystis lacustris</i> Chod.	6	306					216	666	2208	1572	900	126
<i>Oscillatoria limosa</i> Agardh									420			30
<i>Oscillatoria</i> sp.							32					
<i>Pediastrum simplex</i> Meyen	5712		2112	160	16		1152	16			21552	560
<i>P. simplex</i> v. <i>sturmii</i> (Reinsch) Wolle		2576							6368	10096		
<i>P. duplex</i> Meyen	224				16		16		1968	1392	1712	
<i>P. tetras</i> (Ehrenb.) Ralfs	16								880	352		
<i>Phacus</i> sp.	1											
<i>Quadrigula lacustris</i> (Chod.) G.M. Smith	4							4		4		
<i>Q. quaternata</i> (W. & G.S. West) Printz	4											
<i>Q. sabulosa</i> Hind.											4	
<i>Radiococcus nimbatus</i> (De-Wild.) Schmidle									440	872		
<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kütz.) Grun.				26	7			1	27	43	21	
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	112	56					1032	444	328		256	28
<i>S. acutus</i> v. <i>globosus</i> Hortob.							4					
<i>S. spiculatus</i> (W. & G.S. West) Chod.										4		
<i>S. brevispina</i> (G.M. Smith) Chod.	4	4						220	220	4	168	
<i>S. longispina</i> Chodat									1264	3928	2316	84
<i>S. magnus</i> Meyen	56											
<i>S. ovalternus</i> Chod.										4	32	
<i>S. quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	1	1					1	1		22		
<i>S. sempervirens</i> Chod.		16		12				4	328	4	600	
<i>S. spinosus</i> Chod.							144					
<i>Schroederia indica</i> Philipose									69	1	86	
<i>Skeletonema potamos</i> (Weber) Hasle						179	8091	556		1300		
<i>Staurastrum paradoxum</i> Meyen	14	4		1	1				1	65	21	1
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun.												
<i>f. tenuis</i> (Hust.) Håk & Stoermer	57			3		1		55	14	109	14	162
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.		23	33	13	30	22	1		69	22	150	14
<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i> (Schroeder) Lemm.	4	4					144		108	4	84	
<i>T. triangulare</i> (Chod.) Kom.		1										

Taula XXII : Composició i abundància absoluta de les espècies de fitoplàncton a l'estació de Xerta, des de l'octubre de 1986 a l'octubre de 1987.

	Oct.	Nov.	Dec.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.
<i>Actinocyclus normanii</i> .											212	1231
<i>f. subsalsa</i> (Juhlin-Daunfelt) Hust.												
<i>Achnanthes lanceolata</i> Breb.						1						
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerh.								4		184		
<i>Amphora ovalis</i> Kütz.				7								
<i>Anabaenopsis nadsonii</i> Woronich.		280										
<i>Anabaena verrucosa</i> Boye-Pet.		9020									1580	
<i>A. constricta</i> (Szafer) Geitler		1										
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs.		1	113	56	10	61	189	5160	2468	46	79	
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	200		864	4192	2056	240						
<i>Aulacosira granulata</i> (Ehr.) Simonsen												
<i>& v. angustissima</i> (O. Muller) Simonsen	126	99	49								1450	124
<i>Closteriopsis longissima</i> (Lemm.) Lemm.		14	7							1		
<i>Coelosphaerium kutzingianum</i> Næg.	240	280										
<i>Coelastrum astroideum</i> De-Not.	200	224			8					8	632	
<i>C. microporum</i> Næg. in A.Br.	8		56					1368		2592	1264	424
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchn.) W+G.S.West	4	168	1120	148	146							
<i>Crucigeniella spiculata</i> (Lemm.) Kom.	6	84								90		
<i>Cryptomonas</i> sp.		1063	322		64			846	4115			35
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	12	14	35				147			92		
<i>Cyclotella</i> sp. pl. and other Centrales*	2518	750	329	495	2103	7412	2457	13248	31266	663	13394	390
<i>Cymbella sinuata</i> Greg.	1											
<i>Chlamydomonas</i> sp.	1											
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck											1526	
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemm.		28										
<i>Dictiosphaerium pulchellum</i> Wood			84					84			316	
<i>Euglena</i> sp.		42					61					124
<i>Gymnodinium</i> sp.		42										71
<i>Kirchneriella subcapitata</i> Kors.	75	28	7		1		1		1	-46	79	
<i>K. contorta</i> (Schmidle) Bohl.		28								15		
<i>Melosira varians</i> C.A. Agardh	1			13								
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen	12											
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Kom.-Legn.			21		9		126		551	61		
<i>M. griffithii</i> (Berk.) Kom.-Legn.	12											
<i>Navicula cryptocephala v. axillis</i> Kütz.				3								
<i>N. lanceolata</i> (Agardh) Cl.				3		30						
<i>N. tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory					28	30	1					
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz.) W. Smith		28		1		30	1			1		
<i>N. acula</i> Hantzsch.				142								
<i>N. dissipata</i> (Kütz.) Grun.			7									
<i>N. linearis</i> W. Smith		14		3		30				92	319	
<i>N. longissima</i> (Bréb.) Ralfs											1	
<i>N. palea</i> (Kütz.) Grun.							21	1	1			
<i>N. rosana</i> Grun.				7								
<i>N. sigma</i> (Kütz.) W. Smith					1							
<i>Oocystis lacustris</i> Chod.	72	426	84				630	2058		3780	5772	318
<i>Oscillatoria</i> sp.		448										
<i>Pediastrum simplex</i> Meyen	2000	2496	336	16		16		1360	4304		20528	2272
<i>P. simplex v. sturmi</i> (Reinsch) Wolle										10080		
<i>P. duplex</i> Meyen	192						16	1360		16	1264	
<i>P. tetras</i> (Ehrenb.) Ralfs										240		
<i>Phacus</i> sp.		1										
<i>Phormidium frigidum</i> Fritsch			7									
<i>Radiococcus nimbatu</i> (De-Wild.) Schmidle		8								8	1264	
<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kütz.) Grun.			7	13		1	1					
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	100	232	84	12			588	2064		60	3168	4
<i>S. acutus v. acutus</i> Chodat				4				1032	1076			
<i>S. acutus v. globosus</i> Hortob.	48											
<i>S. brevispina</i> (G.M. Smith) Chod.			28									
<i>S. ellipsoideus</i> Chod.				12								
<i>S. longispina</i> Chodat		340	168					2404	1076	2652	5460	356
<i>S. ovalternus</i> Chod.										4		
<i>S. quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	100						4			60	316	
<i>S. sempervirens</i> Chod.	48	4	84	12			4				632	
<i>S. spinosus</i> Chod.							252					
<i>Schroederia indica</i> Philipose		1	1									
<i>Skelatonema potamos</i> (Weber) Hasle						307	3177	343	27702	354	316	
<i>Staurastrum paradoxum</i> Meyen								1				
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun.												
<i>f. tenuis</i> (Hust.) Håk. & Stoermer	1								269	1	106	615
<i>Synedra acus</i> Kütz.		1	7									
<i>S. uina</i> (Nitzsch.) Ehr.		1	14	3			21			15		
<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansg.	1											
<i>T. minimum</i> (A. Br.) Hansg.	25	14										
<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i> (Schröder) Lemm.	4	56	28	68	4	4	4	4		308	316	

Taula XXIII : Composició i abundància absoluta de les espècies de fitoplàncton a l'estació de la desembocadura, des de l'octubre de 1986 a l'octubre de 1987.

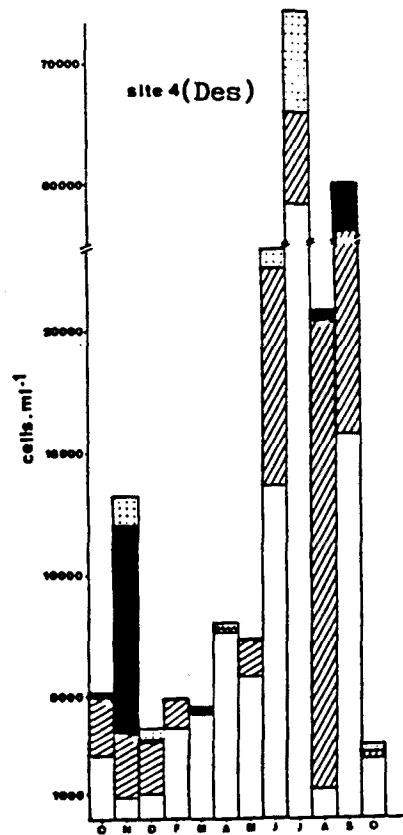
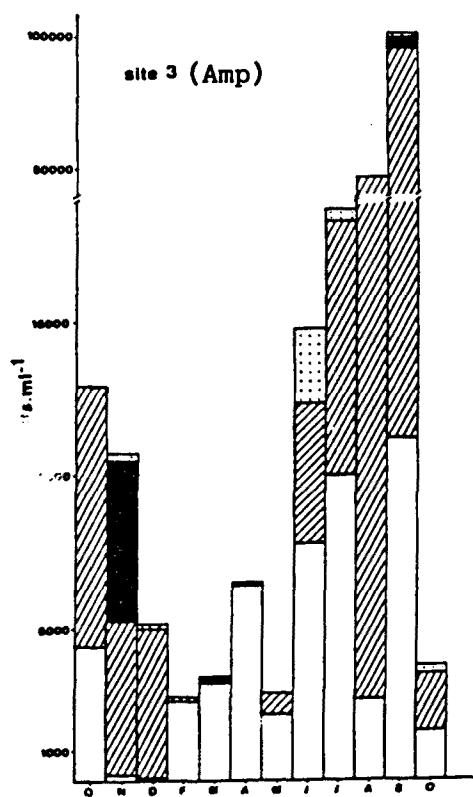
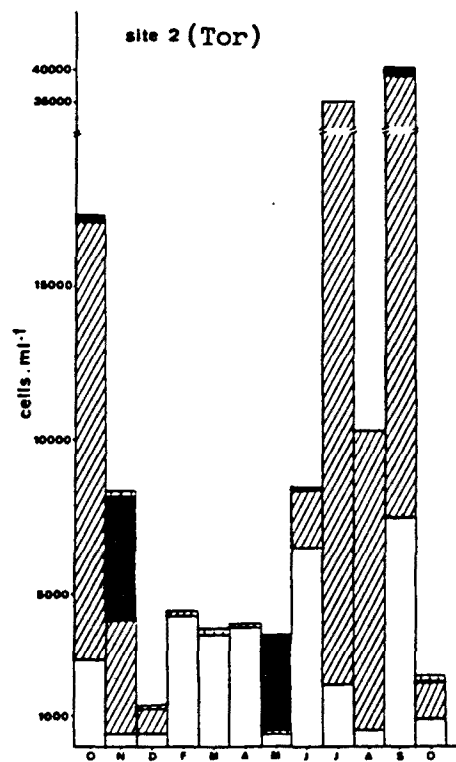
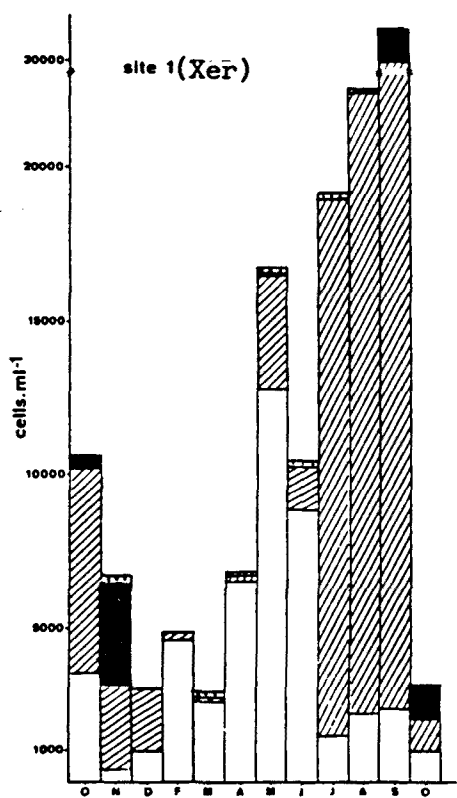


Fig. 71 : Densitat total (cèl.lules.ml⁻¹) de fitoplàncton a les estacions del riu. També s'indica l'abundància relativa de cada grup.

Amposta.

S'ha observat un comportament diferent de la densitat per a cada estació al llarg del cicle estudiat (fig. 71). A Xerta es troben densitats importants a la primavera, mentre que a les altres tres estacions es desplacen cap a mitjans o finals d'estiu. També s'observa un augment progressiu en el nombre de cèl.lules. ml⁻¹ aigües avall durant aquest últim període. En la desembocadura es troben entre 19000 i 73000 cèl.lules/ml, mentre que en les estacions reòfiles les densitats oscil·len entre 13000 i 41000 cèl.lules/ml. Sembla possible que l'hidrodinamisme sigui parcialment responsable d'una densitat més important de fitoplàncton a les estacions estuarines, juntament amb la presència d'un marge més ampli de salinitats que afavoreixen el desenvolupament d'algunes espècies (JACKSON et al.,1987).

Hi ha una absoluta dominància dels dos grups majoritaris, diatomees i clorofícies, al llarg de tot el cicle (fig. 71). Les diatomees són més abundants a la primavera. Les clorofícies incrementen el nombre de cèl.lules des de finals de la primavera cap a l'estiu. En les tres primeres estacions les clorofícies tenen un creixement restringit als mesos de juliol, agost i setembre. A la desembocadura apareixen abans, el mes de juny, i és l'estació que presenta densitats més importants d'aquest grup, 19500-41300 cèl.lules/ml. Les cianofícies presenten, en general, abundàncies baixes excepte al novembre, on trobem màxims a totes les estacions (entre 3200 a Xerta i 9800 cèl.lules/ml a la desembocadura). i al maig a l'estació de Tortosa de 3300 cèl.lules/ml. La resta de grups són poc importants i la seva abundància és poc significativa. Sols en períodes limitats (juny, juliol) les espècies flagel·lades del grup de les criptofícies són relativament abundants (2200 al juny a Amposta i 4115 al juliol a la desembocadura).

3.5. EVOLUCIÓ DELS TÀXONS MÉS CARACTERÍSTICS

Anabaena verrucosa i *Coelosphaerium kutzingianum* són les espècies més abundants del grup de les cianofícies i les responsables dels màxims que apareixen al novembre a totes les estacions (fig. 72, 73, taula XXII i XXIII). Al setembre les tornem a trobar, però en menor quantitat, a les quatre estacions i al maig només trobem *Coelosphaerium kutzingianum* a l'estació de Tortosa.

L'abundància del fitoplàncton la tardor de 1986 es deu principalment a les diatomees centríques *Aulacoseira* (abans *Melosira*) *granulata* i *Cyclotella* spp. (*C. atomus* i *C. meneghiniana*) (fig. 72, 73). *Aulacoseira granulata* es va tornar a trobar al riu durant la tardor de 1987; entre aquests dos períodes no va aparèixer en les mostres de

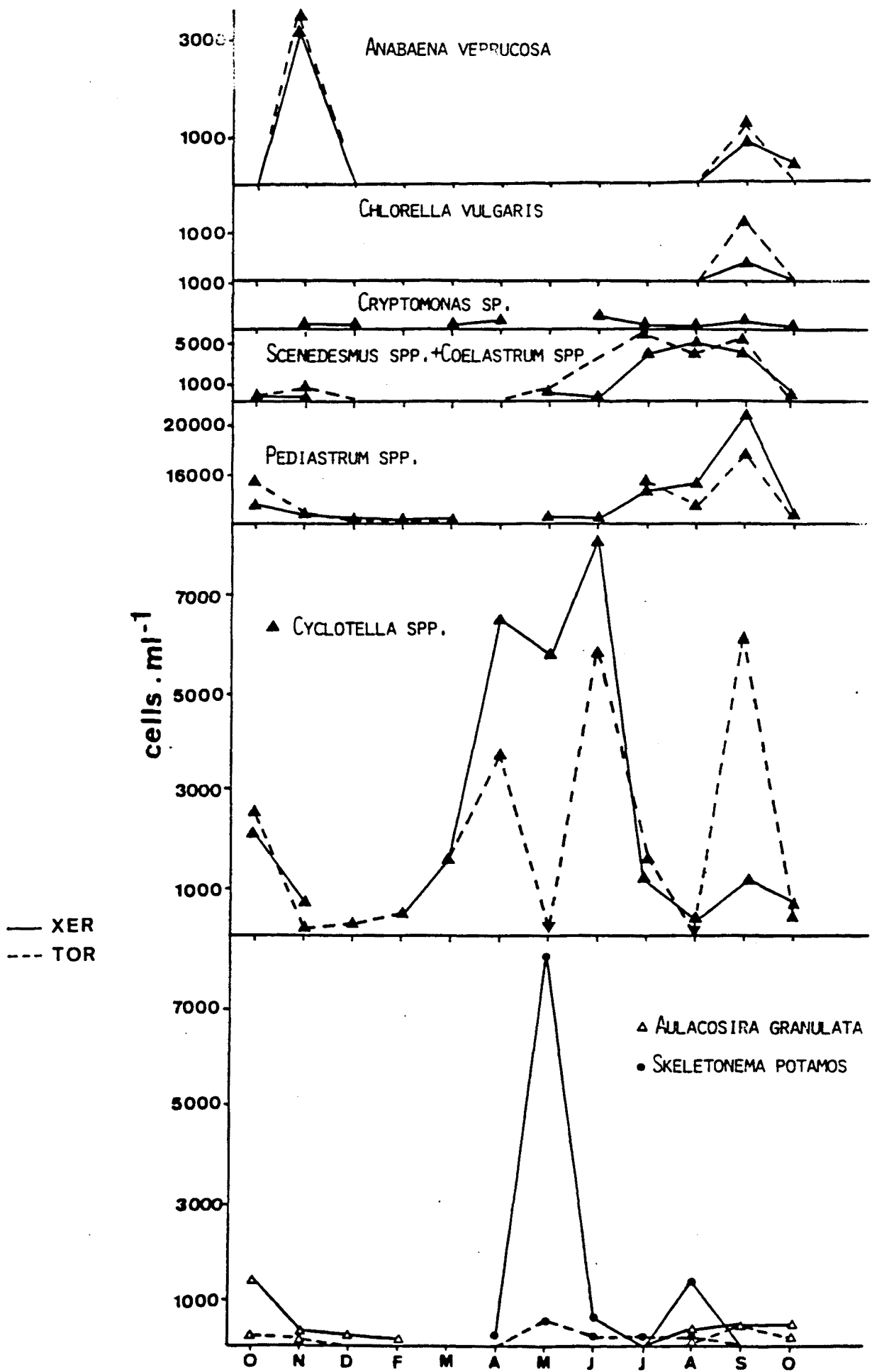


Fig. 72 : Dinàmica de les espècies o grups més representatius del fitoplàncton, a les estacions de Xerta i Tortosa.

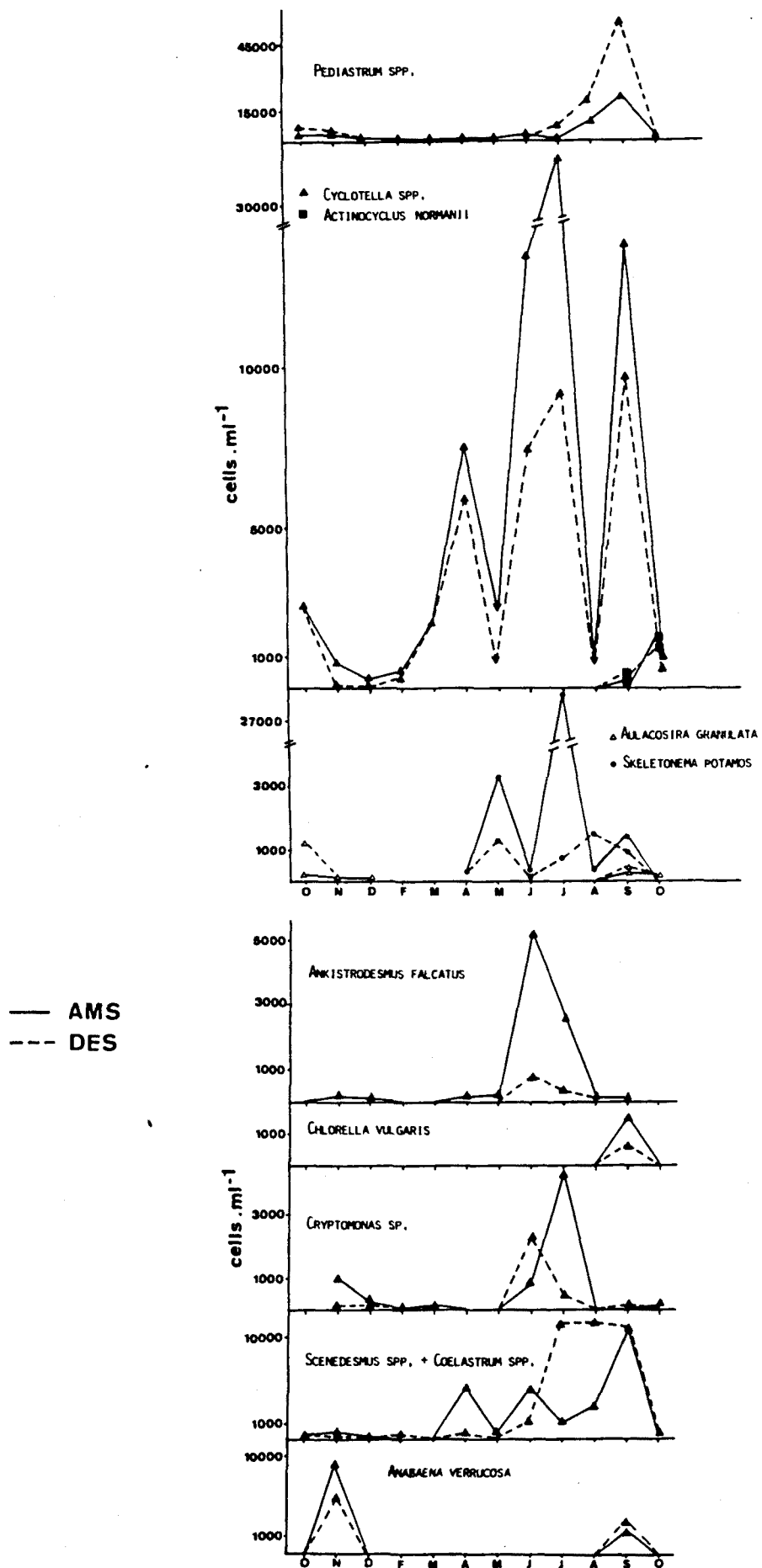


Fig. 73 : Dinàmica de les espècies o grups més representatius del fitoplàncton, a les estacions d'Ampostà i la desembocadura.

fitoplàncton. *Skeletonema potamos* i *Cyclotella spp. (ocellata i comta)* són les espècies més importants que constitueixen la major part del fitoplàncton de primavera. Algunes de les diatomees cèntriques que eren abundants a la primavera estenen el seu desenvolupament també a l'estiu, principalment a les estacions estuarines. Al juliol *Cyclotella atomus* presenta 31500 cèl.lules/ml a la desembocadura i *Skeletonema potamos*, 27000. Al final de l'estiu les diatomees cèntriques *Actinocyclus normanii* i *Stephanodiscus hantzschii* (fig. 72, 73) apareixen en el fitoplàncton de les estacions estuarines però amb valors baixos, 1900 cèl.lules/ml a l'octubre, i són pràcticament inexistent a les estacions reòfiles. En aquestes estacions són freqüents altres diatomees d'origen bentònic com *Navicula spp.* i *Nitzschia spp.*, encara que mai arriben a assolir densitats importants.

Quant al grup de les clorofícies, *Scenedesmus spp.* i *Coelastrum spp.* (fig. 72, 73) són abundants a finals de la primavera i al llarg de l'estiu. *Pediastrum spp.* apareix a la tardor, durant l'hivern la seva densitat és molt baixa i torna a ser important a finals de la primavera i l'estiu. *Chlorella vulgaris* i *Oocystis lacustris* (fig. 72, 73, taules XXII i XXIII) presenten un desenvolupament important al setembre. Al juny i a la desembocadura hi ha un important creixement d'*Ankistrodesmus falcatus*.

Dintre del grup de les criptofícies, *Cryptomonas sp.* assoleix una moderada abundància a les dues estacions situades aigües avall i al juny i juliol de 1987 (fig. 72, 73).

3.6. CONCLUSIONS

Les variacions en el flux de l'aigua i la temperatura, característiques relacionades amb el caràcter mediterrani de l'Ebre a la seva part baixa, afecten també la dinàmica general de la població de fitoplàncton. Els valors alts de cabal a l'abril de 1987 podrien justificar en part la baixada en l'abundància de cèl.lules durant el següent mes (CLOERN et al., 1985; COHEN, 1988; RELEXANS et al., 1988). Fluxos baixos i altes temperatures durant l'estiu poden afavorir el desenvolupament de les algues, especialment a les estacions estuarines (coeficient de correlació entre el nombre de cèl.lules i la temperatura =0.64, $p < 0.02$ per l'estació de la desembocadura). Resultats semblants es troben en altres rius com el Rin (de RUYTER, 1989a; 1989b)

En contrast amb altres rius mediterranis de tamany mitjà (SABATER, 1990) les espècies d'origen bentònic no arriben mai a ser importants en la part baixa de l'Ebre, mentre que es troba una comunitat fitoplànctònica ben constituïda. El temps de

residència de l'aigua és un factor important en el desenvolupament del fitoplàncton en els rius. Així, una important comunitat de fitoplàncton només es desenvoluparà en grans rius amb flux lent (MARGALEF, 1960), on l'alt temps de residència de l'aigua permet un increment en la densitat del fitoplàncton riu avall. Aquest desenvolupament pot estar afavorit per condicions climàtiques, com la llum i la temperatura, favorables (de REYTER et al., 1989). La influència del bentos en les mostres de fitoplàncton a l'Ebre és més important durant la primavera i la tardor, períodes de cabals alts, i en les estacions més reòfiles (Xerta i Tortosa).

L'alternança entre diatomees i clorofícies caracteritza la successió del fitoplàncton de la part baixa del riu Ebre al llarg del cicle anual. Les diatomees són més abundants a la tardor, primavera i principis de l'estiu mentre que les algues verdes es desenvolupen principalment a l'estiu. Aquest sembla ser un patró general en sistemes lòtics de latituds atemperades (HYNES, 1970), i ha estat descrita en altres rius (WILLIAMS i SCOTT, 1962; LACK, 1971; LANGE-BERTALOT, 1974; PINTER i BACKHAUS, 1984; DESCY, 1987).

Les cianofícies només es presenten a la tardor i de forma moderada. Aquesta distribució tan restringida contrasta amb l'abundància trobada en altres rius eutròfics, com en el cas del Potomac (KROGMAN et al., 1986), el Bure (MOSS et al., 1984) o el riu Lot a l'estiu (CAPBLANCQ i DAUTA, 1978). Tot i així sembla que els rius com a sistemes turbulents no són favorables per al desenvolupament d'aquest grup (STEINBERG i HARTMANN, 1988). Altres formes ben adaptades a aigües turbulentes com les diatomees cèntriques estan en avantatge i poden arribar a assolir abundàncies importants en condicions de poca llum pròpies de certs períodes de l'any (REYNOLDS, 1986).

L'abundant increment aigües avall de *Cyclotella* spp., *Stephanodiscus* spp. i *Skeletonema potamos* pot estar relacionat amb canvis favorables en les condicions del medi. La conductivitat és l'únic paràmetre amb un coeficient de correlació significatiu per a aquestes espècies (a la desembocadura $r=0.723$, $p<0.01$ per *Cyclotella*, $r=0.527$, $p<0.1$ per *Skeletonema*). Aquestes espècies han estat observades en aigües eutròfiques amb un contingut mineral moderat o alt (CHANG i STEINBERG, 1989), fins i tot en aigües amb condicions de salinitat elevades (HASLE i EVENSEN, 1976). *Cyclotella atomus* i *C. meneghiniana* es desenvolupen també òptimament en altes salinitats (HASLE, 1962, SCHOEMAN i ARCHIBALD, 1976, 1980; JACKSON et al., 1987), d'aquí la seva abundància en les aigües mineralitzades de l'Ebre i especialment a la desembocadura, on l'augment de salinitat és remarcable.

Tot i que l'alternança entre diatomees i algues verdes descrita anteriorment sigui general a les quatre estacions estudiades, hi ha una heterogeneïtat longitudinal important que complica el procés de la successió anual. Per estudiar millor aquests aspectes hem utilitzat una anàlisi multivariant. Hem fet una anàlisi de components principals incloent-

hi 16 tàxons o grups de tàxons, seleccionats segons la seva àmplia distribució i abundància a les mostres. El primer component, que explica el 34.6 % de la variància (fig. 74), està relacionat amb l'abundància total de les variables, fet comú en aquests tipus d'anàlisis, i per això no s'ha tingut en compte a l'hora de la interpretació final. Els altres tres components, amb el 65.2 % de la variància, ofereixen una ordenació ecològicament significativa, amb un remarcable significat estacional. El segon component (28.6 % de la variància) ordena els tàxons respecte a les seves preferències per aigües més o menys ràpides i/o turbulentes. *Skeletonema potamos*, *Cryptomonas sp.* i *Monoraphidium spp.* que estan positivament correlacionades amb aquest component, són espècies comunes al fitoplàncton de primavera, època de cabals elevats d'acord amb l'hidrograma del riu Ebre. Amb correlacions negatives amb el segon component tenim un grup d'algues verdes típiques de l'estiu amb fluxos baixos: *Oocystis spp.*, *Pediastrum spp.*, *Coelastrum spp.* i *Scenedesmus spp.* El tercer component (16.1 %) segrega un grup de diatomees cèntriques (*Actinocyclus normanii*, *Stephanodiscus hantzschii*) que són abundants al final de l'estiu a les estacions estuarines. *Actinocyclus normanii* ha estat trobat en aigües salobres i marines (HASLE, 1977). La seva abundància a les estacions estuarines, en contrast amb la pràctica absència a les estacions reòfiles, indica una tolerància a les altes conductivitats que presenten aquestes estacions (coeficient de correlació amb la conductivitat =0.96, $p < 0.05$, $n=4$). Finalment, el quart component (11.2 %) defineix un grup d'espècies comunes a la tardor: *Anabaena spp.*, *Aulacoseira granulata*, *Coelosphaerium kutzingianum* (fig. 74).

La seqüència temporal del desenvolupament del fitoplàncton a l'Ebre queda marcada a la figura 74. Es pot efectuar una seqüència que va des del grup d'espècies present a la tardor cap a les espècies de primavera i finalment a les d'estiu. El grup d'espècies amb un pes important pel factor III no queda dintre de la seqüència i representa la fase més estuarina del fitoplàncton de l'Ebre.

Així podem dir que la dinàmica del fitoplàncton a la part baixa de l'Ebre queda definida per l'estacionalitat, determinada alhora pel flux de l'aigua i la temperatura, i per els canvis de la conductivitat que reflecteix les relacions estretes amb l'aigua de mar.

Aquesta dependència dels factors físics sobre l'abundància del fitoplàncton és comú en sistemes lòtics on poden ser més importants que altres factors com la concentració de nutrients (HYNES, 1970; SWANSON i BACHMANN, 1976; CLOERN et al., 1985; SOBALLE i KIMMEL, 1987). A l'Ebre no hi ha cap nutrient limitant en cap moment del cicle (relacions atòmiques N/P superiors a 20), mentre que el cabal, la temperatura i la influència de l'aigua de mar tenen variacions importants, lligades al caràcter mediterrani del riu. Altres factors que poden determinar l'evolució del fitoplàncton (consum per part del zooplàncton o dels macroinvertebrats), i que de fet són importants en altres rius (COHEN, 1988), no han estat estudiats en el nostre cas.

La representació dels *scores* dels components II i III (fig. 75) resumeix les

Fig. 74 : Ordenació tridimensional de 16 tàxons o grups taxonòmics en l'espai definit per el segon, tercer i quart factors.

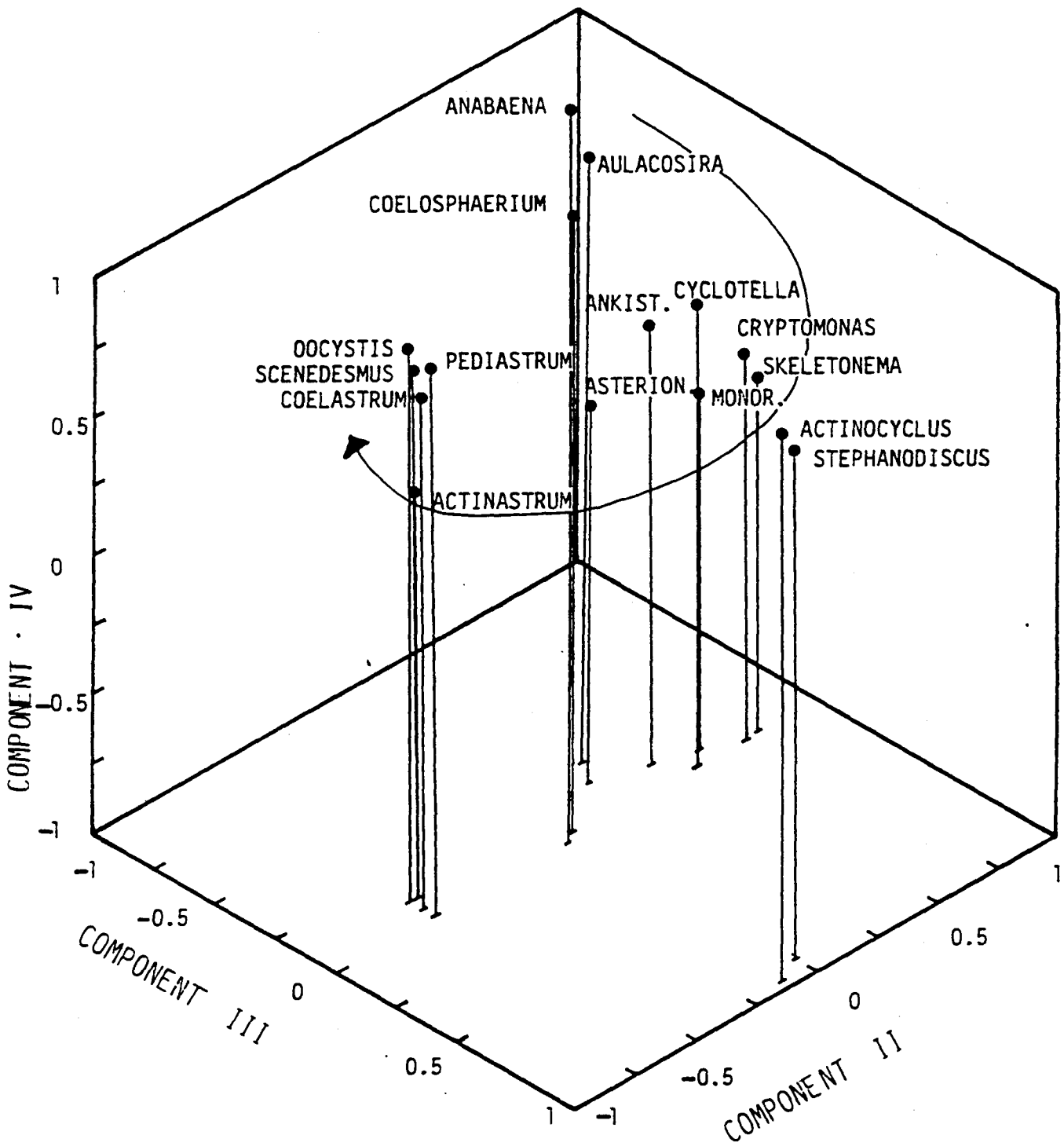
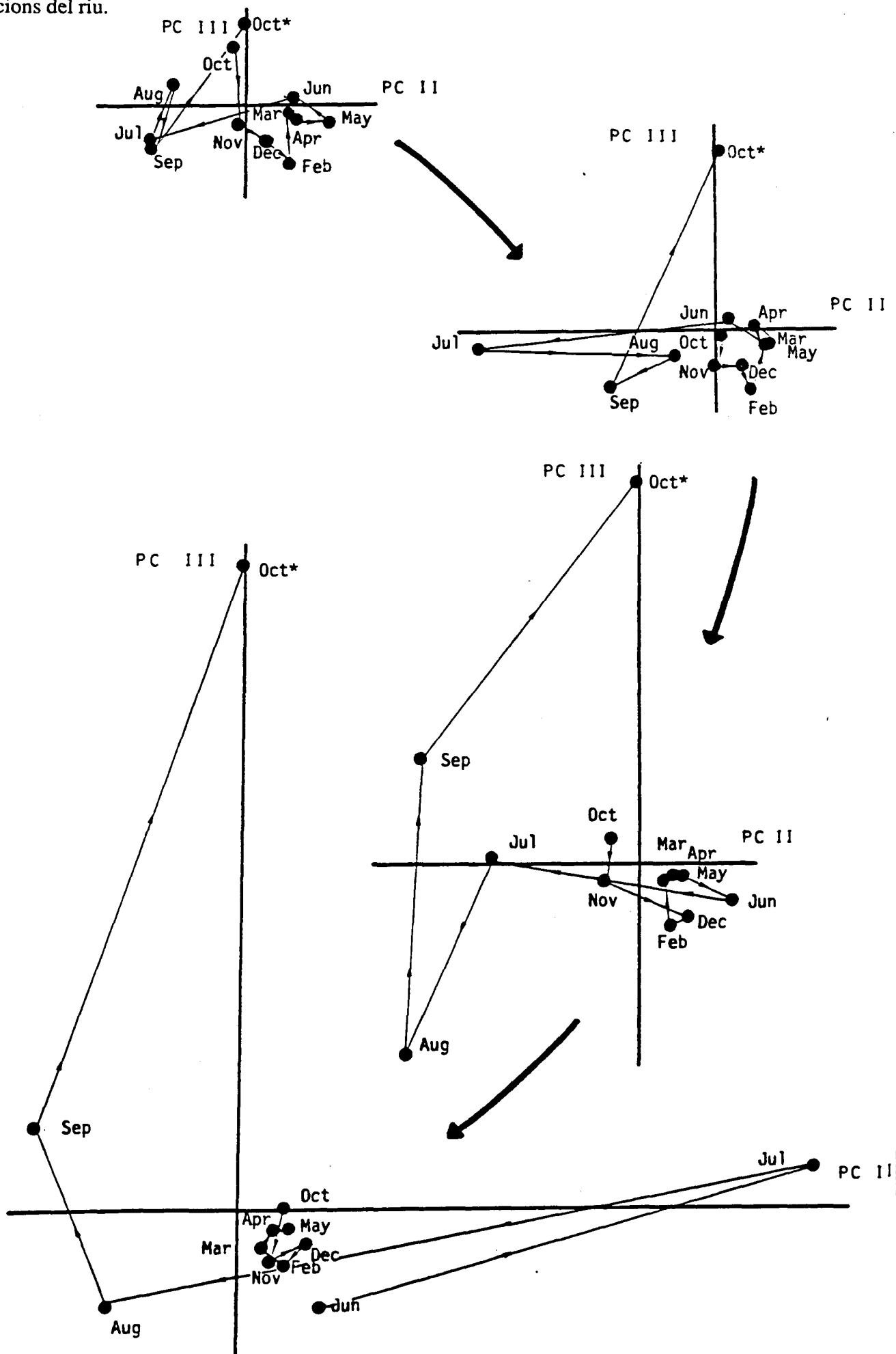


Fig. 75 : Representació dels *scores* de les quatre estacions. Les fletxes connecten dos mesos consecutius de forma que segueix una seqüència temporal. Oct* correspon a octubre de 1987. Les fletxes més grans ens indiquen la seqüència longitudinal de les estacions del riu.



diferències del comportament estacional a les quatre estacions i ens permet anar des d'una visió espacial a una de temporal. Les distàncies entre dos *scores* consecutius són curtes i similars a totes les estacions durant l'hivern i la primavera. En aquesta època el riu és més homogeni respecte a la composició del fitoplàncton. A mesura que avança l'estiu les diferències s'incrementen, i són cada cop més grans quan el riu s'aproxima a la desembocadura. A l'estiu i principis de la tardor la composició del fitoplàncton va canviant respecte a la composició de la primavera i l'hivern, apareixen noves espècies i l'abundància és més alta. Això és més clar a les estacions estuarines.