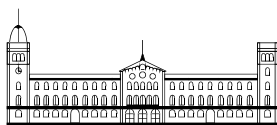




2007

**"SITUACIONS D'ANÒXIA EN ZONES ESTUÀRIQUES
SENSE FORÇAMENT MAREAL:
una aproximació als balanços producció/consum d'oxigen"**

Tesi doctoral
Xavier de Pedro Puente



TESI DOCTORAL

DEPARTAMENT D'ECOLOGIA –FACULTAT DE BIOLOGIA

UNIVERSITAT DE BARCELONA

Programa de Doctorat: Ecologia. Bienni: 1996-1998.

"SITUACIONS D'ANÒXIA EN ZONES ESTUÀRIQUES SENSE FORÇAMENT MAREAL: una aproximació als balanços producció/consum d'oxigen"

Memòria presentada per Xavier de Pedro Puente per optar al títol de doctor per la Universitat de Barcelona, sota la direcció del Dr. Javier Romero Martinengo i del Dr. Jordi Camp Sancho.

Dr. Javier Romero Martinengo
Departament d'Ecologia
Facultat de Biologia
Universitat de Barcelona

Dr. Jordi Camp Sancho
Institut de Ciències del Mar.
Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i
Ambientals, CMIMA-CSIC.
Barcelona

Xavier de Pedro Puente
Barcelona, 25 de setembre de 2007



**Capítol 2. Meteorologia de la badia dels Alfacs i
característiques físico-químiques de la seva
aigua durant la dècada dels anys 90**

Capítol 2. Meteorologia de la badia dels Alfacs i característiques físico-químiques de la seva aigua durant la dècada dels anys 90

Introducció

Com hem vist en el capítol anterior, algunes variables meteorològiques condicionen en gran mesura els processos hidrodinàmics dels estuaris. A la vegada, tant aquestes variables com les característiques físico-químiques del medi aquàtic influeixen sobre els processos biològics de consum i producció d'oxigen. Pels objectius d'aquesta tesi és vital, doncs, actualitzar el coneixement sobre les característiques de l'aire i de l'aigua de la zona, tant les actuals, com esbrinant-ne els canvis recents que s'hagin pogut produir.

Entre les variables més rellevants en aquest context es troben la temperatura, la velocitat del vent, la llum incident, la transparència de l'aigua, l'estructura vertical de la columna d'aigua i l'hidrodinamisme associat i la concentració de nutrients. Sovint és molt difícil separar-los en factors aïllats atès que es troben interrelacionats i l'acció d'un d'ells afecta a alguns dels altres.

La temperatura, per exemple, afecta tant a processos purament físics com a tots els processos d'equilibri químic i al metabolisme dels organismes (Jørgensen 1994). En altres escales, la temperatura condiona els cicles estacionals de biomassa dels organismes als ecosistemes, a través de canvis en els hàbits productius, alimentaris i reproductius de molts nivells tròfics, modificant a la seva vegada la demanda biològica neta d'oxigen dins el medi aquàtic, i fins i tot, la distribució biogeogràfica dels organismes (Margalef 1974). El vent per la seva banda pot induir o modificar la circulació de les masses d'aigua (veure capítol anterior). El clima lumínic determina en gran mesura el balanç de producció/consum d'oxigen de l'ecosistema (Valiela 1995). D'altra banda, l'estructura vertical de la columna d'aigua, que condiona el funcionament hidrodinàmic (Officer 1983), ve donada per la distribució de densitats, que depèn de la temperatura i la salinitat (veure capítol anterior per més detalls). Per últim, la concentració dels principals nutrients determina, en major o menor mesura, la producció biològica (Thomann i Mueller 1987). En aquesta línia, és freqüent citar la poca disponibilitat de nitrogen o fòsfor com a factor limitant pels organismes fotosintètics en estuaris somers de climes temperats (Fisher *et al.* 1992, Morrison *et al.* 1997). Quan es dona una disponibilitat relativa molt elevada d'un d'aquests nutrients limitants, es poden produir alteracions de les comunitats per proliferacions massives d'organismes oportunistes (Duarte 1995) que, a la seva vegada, poden afectar de forma severa la dinàmica de l'oxigen.

Els canvis d'aquestes variables amb el temps, tant estacionals com al llarg d'anys diferents, també juguen un paper important en la dinàmica ecològica (Valiela 1995). Així, un any sec, té potencialment

repercussions sobre els aportats d'aigua totals rebuts a la badia, i per tant, pot afectar sensiblement als fluxos d'intercanvi net d'aigua entre mar obert i la badia (Officer 1980). A més, tendències sostingudes de canvi interanual poden conduir al sistema cap a situacions noves o induir-hi modificacions persistents. En aquest sentit, cal esmentar que Ibáñez *et al.* (1995) van descriure que havien pujat els aportats dels nutrients als ecosistemes del Delta de l'Ebre, en general, per sobre dels seus valors prèviament habituals.

L'objectiu d'aquest capítol és, doncs, subministrar una descripció de les condicions actuals de la badia d'Alfacs, tant meteorològiques com hidrogràfiques, i analitzar, en la mesura que les dades ho permetin, els possibles canvis recents en aquestes condicions. Per últim, es cercaran relacions estadístiques entre algunes de les variables analitzades que puguin ajudar a aclarir el funcionament del sistema, en quant a la dinàmica d'oxigen dissolt es refereix.

Metodologia

Origen de les dades

Les dades en que es basa el present capítol tenen orígens força diversos, incloent projectes de recerca anteriors, sèries de dades de treballs de seguiment ambiental, registres meteorològics, i preses de mostres específiques (Taula 2.1).

Taula 2.1 Projectes d'investigació d'on procedeixen les dades que s'han analitzat en la present tesi.

Projecte d'investigació	Centre d'Investigació	Característiques dels mostrejos
CICYT (MAR89-0556) 1986-1988	Institut de Ciències del Mar (CSIC) Departament d'Ecologia (UB)	<i>Període:</i> febrer 1986 - juny 1987. <i>Freqüència de mostreig:</i> mensual (inclou cicles diaris). <i>Lloc de mostreig:</i> varis punts dels Alfacs i canals de desguàs dels arrossars. <i>Tipus de mostreig:</i> perfils en fondària.
Control de la qualitat de l'aigua de la Badia 1990-1995	Centre Nacional d'Aqüicultura (DARP)	<i>Període:</i> maig 1990 - maig 1995. <i>Freqüència de mostreig:</i> setmanal. <i>Lloc de mostreig:</i> punt central. <i>Tipus de mostreig:</i> perfils en fondària, metre a metre el 1991.
CICYT (AMB95-0171-CO2) 1995-1998	Departament d'Ecologia (UB) Institut de Ciències del Mar (CSIC)	<i>Període:</i> 1995-98 <i>Freqüència de mostreig:</i> 1995: novembre. 1996: juliol, setembre. 1997: gener, març, abril, juny, juliol, setembre, octubre. 1998: febrer, juliol, setembre. <i>Lloc de mostreig:</i> varis punts dels Alfacs i canals de desguàs dels arrossars. <i>Tipus de mostreig:</i> perfils en fondària.
Control de la qualitat de l'aigua de la Badia 1996-1998	Centre Nacional d'Aqüicultura (DARP)	<i>Període:</i> abril 1996 – maig 1998 <i>Freqüència de mostreig:</i> mensual-setmanal. <i>Lloc de mostreig:</i> punt central. <i>Tipus de mostreig:</i> perfils en fondària.

Les dades del projecte d'investigació de la CICYT de 1986-88 s'han utilitzat com a referència per analitzar si hi ha hagut algun canvi significatiu en les variables físico-químiques durant l'última dècada.

Del monitoratge del Centre Nacional d'Aqüicultura⁵ (a partir d'ara "CNA-DARP") de 1990-98 i del projecte d'investigació de la CICYT de 1995-98 (específic per als objectius d'aquesta tesi) s'han agafat les variables físico-químiques comuns dels punts de mostreig equivalents entre conjunts de dades, per tal de poder fer comparacions vàlides. Val a dir, que el fet que més o menys fossin sempre els mateixos centres o equips d'investigació els involucrats en els mostresos garanteix la seva necessària homogeneïtat.

Dades meteorològiques

Es van obtenir de l'estació automàtica situada al municipi d'Amposta (40° 42' 24" N, 00° 37' 48" E; Z=3.5m), del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya ("Amposta-DARP", veure Capítol 1). Aquestes dades en valors diaris (Taula 2.2) comprenen les temperatures extremes i mitjana, humitat mínima i mitjana (%), la velocitat del vent mitjana ($m s^{-1}$) i la seva orientació (graus), radiació solar global ($MJ m^{-2}$), precipitació total ó PPt (mm) i l'evapotranspiració de referència ó ETo (mm). Es va prendre evapotranspiració de referència com a l'estima més fiable que es disposava d'evaporació, tant a la plana deltaica com a la badia dels Alfacs (veure justificació a Capítol 1, plana 30). I es considera com a precipitació neta (o balanç hídric per via atmosfèrica) a la diferència entre PPt i ETo.

Taula 2.2 Variables meteorològiques per a la zona de la badia dels Alfacs. Dades de l'estació meteorològica del municipi d'Amposta (40° 42' 24" N, 00° 37' 48" E).

Variable (valors diaris)		Unitats
Temperatura	<i>màxima, mitjana i mínima.</i>	C
Humitat relativa	<i>mínima i mitjana</i>	%
Velocitat del vent	<i>màxima i mitjana</i>	$m s^{-1}$
Radiació solar global	<i>acumulada</i>	$MJ m^{-2}$
Intercanvi d'aigua amb l'atmosfera:		
- Precipitació total (PPt)	<i>acumulada</i>	mm (ó $l m^{-2}$)
- Evapotranspiració de referència (ETo)	<i>acumulada</i>	mm (ó $l m^{-2}$)
- Precipitació neta (PPt-ETo)	<i>acumulat</i>	mm (ó $l m^{-2}$)

Variables de la columna d'aigua

Es van prendre mostres o efectuar mesures amb diferents periodicitats entre els anys 1986 i 1998 (Taula 2.1), mesurant entre altres variables la salinitat, la temperatura, l'oxigen dissolt i la irradiància

⁵ Localitzat al municipi de Sant Carles de la Ràpita (Montsià). Llavors era depenent del Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca (DARP) i ara de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), totes dues de la Generalitat de Catalunya.

subaquàtica *in situ*, a més de la concentració de diferents espècies químiques de carboni (dades no emprades en aquest capítol), alguns nutrients i clorofil·la a, fonamentalment (Taula 2.3).

Taula 2.3 Variables físico-químiques de l'aigua obtingudes en cada projecte emprades en aquesta tesi doctoral.

CICYT 1985-1988	CICYT 1995-1998	CNA-DARP 1990-1995	CNA-DARP 1996-1998
Temperatura (T)	T	T	T
Oxigen dissolt (OD)	OD	OD	OD
Conductivitat	Salinitat (S)	S	S
pH	Diferència de sigma-t (σ_T)	σ_T	
fosfat (PO_4)	irradiància ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
amoni (NH_4)	Carboni inorgànic dissolt (DIC)		
nitrat (NO_3)	Carboni orgànic dissolt (DOC)		
nitrit (NO_2)	POC		
Alcalinitat	PON		
Fòsfor particulat	DBO ₅ (t)		
Carboni orgànic particulat (POC)	Clorofil·la a (Cl a)	Cl a	
Nitrogen orgànic particulat (PON)	PO_4	PO_4	
Sòlids en suspensió	NH_4	NH_4	
Matèria orgànica en suspensió	NO_2	NO_2	
	NO_3	NO_3	
	Nitrogen inorgànic dissolt (DIN)		
	N/P		
	Silici (Si)		

Les dades de salinitat, temperatura i oxigen dissolt de l'aigua mesurades setmanalment entre 1995 i 1998 van ser agafades per tècnics del CNA-DARP. El lloc de mesura és l'anomenat "punt central" de la badia, i es troba situat just a la zona on s'acaben les plataformes de musclos, davant de l'esmentat centre d'investigació, a prou distància de les muscleres per evitar de resultar influït per aquestes i, alhora, arribar prop de la fondària màxima de la badia. A partir d'ara anomenarem indistintament el "punt central" com a "punt mig", equiparant-lo amb l'estació "Mig" dels nostres mostrejors (Figura 1.2a). A més es van fer altres mesures dins el mateix període d'aquestes tres variables i altres físico-químiques de l'aigua en el marc de la present tesi doctoral. Així es van efectuar perfils de salinitat i temperatura (amb un salinòmetre WTW), oxigen (amb un oxímetre WTW model oxi196 acoblat amb un sensor polarogràfic de membrana) i irradiància subaquàtica (amb una unitat d'emmagatzematge de dades LICOR LI-1000, un piranòmetre aeri LICOR 200SA, un quantòmetre pla submergible LICOR LI192SA, un quantòmetre esfèric submergible LICOR LI193SA). Les concentracions de nutrients i clorofil·la a (Cl a, també, a partir d'ara) es van determinar sobre mostres d'aigua agafades amb ampolla Niskin; les anàlisis es van dur a terme als laboratoris de l'Institut de Ciències del Mar del

Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, (ICM, CMIMA-CSIC). Les de nutrients es van congelar a -20°C fins el dia de la seva determinació, en que es van analitzar d'acord amb els mètodes descrits per Grasshoff *et al.* 1983, mitjançant la utilització d'un autoanalitzador de flux segmentat *Alliance Evolution II*. Per a la clorofil·la a es van filtrar entre 100 i 500 ml d'aigua amb filtres de microfibra de vidre (Whatman GF/F, 25mm \varnothing). El filtre es va guardar posteriorment en total foscor i va romandre congelat a -20°C fins el dia de la determinació. Per a determinar la concentració en pigments es va aplicar 6 ml d'acetona al 90 % al filtre congelat, es van conservar a 4°C entre 6 i 10 hores en foscor i es va centrifugar durant 15 minuts (Yentsch i Menzel 1963), per mesurar la fluorescència del líquid resultant del procés (fluoròmetre marca Turner Designs, 10-AU-450, Filtre d'excitació a 340-500 nm - pas de banda rodó 5-60 -, Filtre d'emissió >665 nm - tall esmolat rodó 2-64). Es pot trobar més informació sobre la metodologia d'anàlisi de clorofil·la a i nutrients a Olivos (2000).

Les mostres dels canals provenen dels punts de mostreig descrits a la Figura 1.4.

Tractament de les dades

Per tal d'analitzar possibles tendències en les sèries temporals de dades meteorològiques es va utilitzar regressions lineals, fetes amb el programa STATISTICA $\text{\textcircled{R}}$ (StatSoft 1999).

Taula 2.4 Factors de conversió entre els sensors de llum de l'estació meteorològica d'Amposta-DARP i els del LICOR LI-1000 manual. La calibració entre piranòmetres es va realitzar a l'estació meteorològica d'Amposta-DARP el 27/01/99, en un dia molt ventós i cobert de núvols grisos, mentre que les altres mostrades aquí es van fer en una bassa d'aigua en els camps experimentals de la Facultat de Biologia (UB) els dies 11-12/06/98, en dies clars. Totes tres regressions són estadísticament significatives ($p < 0.05$).

X	Y	equació	a	b	r^2	n
Pir. Est.	Pir. manual	$Y = a + bX$	15.155	1.2765	0.9251	13
Pir. manual	Quant. Pla	$Y = a + bX$	15.252	1.8109	0.996	57
Quant. Pla	Quant. Esf.	$Y = a(1 - e^{-bX})$	3604.4	6.266×10^{-4}	0.991	57

Pir. = piranòmetre (Watt m^{-2}); Est. = estació meteorològica; Quant. = quantòmetre ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Esf. = esfèric.

Les dades d'irradiància subaquàtica horàries es van obtenir aplicant factors de conversió empírics (Taula 2.4) a les mesures de radiació global de l'estació meteorològica d'Amposta, calculats a partir d'una sèrie d'intercalibracions entre els sensors (Figura 2.1). Les lectures del piranòmetre de l'estació meteorològica d'Amposta es van convertir en les del piranòmetre LICOR 200SA de l'aparell portàtil de mesures *in situ*, utilitzant un factor de conversió calculat a partir d'una sèrie de mesures simultànies fetes al propi observatori d'Amposta. Les mesures energètiques (Watt m^{-2}) es van convertir a mesures de densitat de flux fotònic ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) amb un factor de conversió derivat de mesures simultànies fetes amb el piranòmetre (LI-COR 200SA) i el quantòmetre pla (LICOR LI192SA). La densitat de flux fotònic subsuperficial es va calcular transformant les dades anteriors mitjançant l'aplicació d'un coeficient de reflexió superficial en funció de l'hora del dia i del dia de l'any (Kirk 1983) tenint en compte l'efecte del vent en la reflexió solar sobre la superfície de l'aigua (Gordon 1969, segons es cita

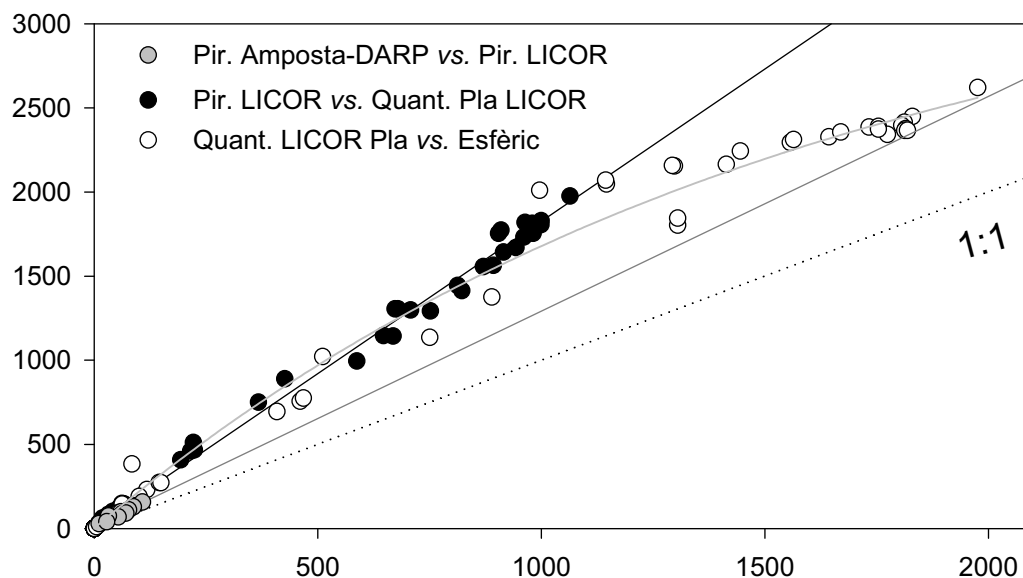


Figura 2.1 Intercalibració entre els sensors de l'estació meteorològica d'Amposta-DARP i els del LICOR LI1000 manual. Pir. =Piranòmetre ($W m^{-2}$); Quant.= Quantòmetre ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$). Els valors dels dos quantòmetres en la calibració són de llums aquàtiques subsuperficials. Llegendra de la figura en format "Eix X vs. Eix Y". Les respectives funcions i els seus coeficients es troben a la Taula 2.4.

a Austin 1974). I per últim, aquestes dades (que correspondrien a les mesures amb un sensor pla) es van transformar a mesures de sensor esfèric a través d'un factor de conversió derivat a partir d'una sèrie de mesures simultànies amb el quantòmetre pla (LICOR LI192SA) i el quantòmetre esfèric (LICOR LI193SA)

Les dades d'irradiància subaquàtica mesurada *in situ* amb el sensor esfèric LICOR LI193SA es van fer servir a més per estimar els coeficients d'extinció de la llum a la columna d'aigua (K_z) en diferents moments de l'any, a partir de l'assumpció d'una extinció de la llum segons una funció exponencial negativa en fondària de la forma $I_z = I_{z_0} e^{-(K_z Z)}$ (Llei de Beer-Lambert), on " I_z " i " I_0 " són les irradiàncies a una fondària " z " i en superfície, respectivament.

El conjunt de dades de salinitat mitjana anual presenta algunes mancances (Taula 2.5). En general, però, aquestes mancances no afecten significativament a les mitjanes anuals. El registre de salinitat de l'any 90 es troba mancat dels primers 4 mesos, però la mitjana d'aquests 4 mesos ($35.4 psu \pm 0.1$, $n=28$) per tots els altres anys només és tres dècimes superior a la mitjana per tot el període 90-98 dels 8 mesos restants ($35.1 psu \pm 0.1$, $n=58$), pel que s'estima que hi ha poca diferència en la mitjana anual de 1990 pel fet de no disposar dels primers 4 mesos de dades. Si assignem als mesos dels que no es tenen dades els valors de les mitjanes d'aquests mateixos mesos per als anys en que sí es tenen dades, la salinitat mitjana anual de 1990 puja dues dècimes, restant encara per sota i a prop de 1991, l'altre any amb el que presenten les salinitats inferiors de la sèrie. I una cosa similar passa amb

1995 i 1996. Si omplim els mesos que manquen amb les mitjanes dels mesos respectius per tot el període, la salinitat mitjana de 1995 passa de 35.4 a 35.2 psu, i la de 1996 es manté en 35.3 psu, amb el que concloem que no s'altera gaire el patró d'evolució de la salinitat mitja anual entre 1990 i 1998. Per acabar, val a dir que l'any 1998 és el que es troba més minvat en quant a nombre de dades i per això és el menys creïble de tots. Pel que fa a les mitjanes mensuals, no hi ha pràcticament disparitats en el nombre de mesures entre anys diferents, si bé si que existeixen forats petits al conjunt de la sèrie de dades.

Taula 2.5 Salinitats mitjanes mensuals (psu) de la Badia dels Alfacs entre 1990 i 1998.

Mes	Any									Total
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	
1		35,3	36,2	35,4	36,6	35,7		35,1	35,1	35,59
2		36,4	36,5	36,6	36,2	35,7		36,3	35,3	36,18
3		35,5	36,3	36,5	35,9	35,7		36,0	36,5	36,04
4		35,9	36,7	36,6	36,1	36,4	36,1	36,1		36,34
5	36,8	35,5	36,7	37,6	36,5	36,9	36,5	36,0	35,8	36,50
6	36,6	36,1	36,8	37,4	36,7		36,6	36,1		36,62
7	35,0	36,7	36,5	37,0	36,6		36,4	35,8		36,34
8	36,4	36,2	37,4	37,2	36,6		36,4	36,2		36,63
9	36,4	37,3	36,8	35,6	35,7		35,4	36,1		36,17
10	35,7	36,3	36,7	36,7	36,5		35,7	36,1		36,26
11	35,3	36,9	36,7	36,3	36,2		36,5	36,1		36,32
12	34,4	36,2	37,1	36,9	36,2		35,9	35,9		36,09
Total	36,02	36,12	36,62	36,72	36,37	35,97	36,15	35,97	35,74	36,27

S'ha assignat la fondària de la picnoclina a aquell interval de fondària amb major canvi de densitat sobre perfils mesurats metre a metre. Per cada perfil, s'ha calculat la suma dels quadrats dels errors de les mitjanes de densitat de la capa superficial i de la capa fonda, i s'ha dividit aquest valor per la suma dels quadrats dels errors de la mitjana de la columna d'aigua; per cada perfil, el càlcul s'ha fet separant la capa superficial de la fonda a 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 i 5.5, definint-se la fondària de la picnoclina allà on el quocient era mínim.

Per analitzar l'evolució anual dels perfils de salinitat, temperatura, i oxigen es va realitzar una interpolació lineal per triangulació entre els valors setmanals entre 1996 i 1998 a cada fondària, de cara a poder representar les dades gràficament en forma d'isolínies. Per criteris de facilitar la referència a les dates de les quals procedeixen les mesures, s'ha inclòs la notació de dies julians en molts dels gràfics, és a dir, de dies naturals a partir del dia julià 1 definit com a tal arbitràriament, que en el nostre cas ha estat l'1 de gener de 1996, si no s'especifica el contrari.

Per tal d'analitzar possibles tendències en les sèries temporals de concentració de nutrients i clorofil·la a, s'han realitzat regressions lineals amb dades setmanals sobre tot o algunes parts del

conjunt de dades de 1990-1995, per ser el que té major densitat i extensió de dades. Per analitzar les relacions entre els nutrients i la clorofil·la a, s'han calculat correlacions de Pearson incloent també els conjunts de dades de 1986-87 i de 1996-97, malgrat contenen sèries temporals molt fraccionades (sense cicles anuals sencers) i amb menor nombre de dades; s'ha tingut en compte aquesta limitació de qualitat de dades en interpretar els resultats.

Un altre manera de buscar canvis en els nutrients accessibles als productors de la Badia dels Alfacs és analitzar les possibles diferències en el temps de les concentracions de nutrients en els aportos d'aigua dolça pels canals de desguàs dels arrossars. Amb aquesta finalitat s'ha realitzat el test no paramètric de Kolmogorov-Smirnov de comparació de les mitjanes per als dos casos de "període de mostreig" (1986-87 *versus* 1996-97). Les fonts d'entrada d'aigua dolça considerades han estat els tres canals principals de desguàs dels arrossars cap a la badia, un que abans travessa una llacuna costanera (el canal de sortida de la llacuna de l'Encanyissada) i els altres dos que vessen directament les seves aigües a la badia en sortir dels camps d'arròs (Sèquia de l'Ala i Desguàs General, veure localització a la Figura 1.4). S'ha aplicat el mateix test estadístic no paramètric per comparar la influència del fet de travessar una llacuna costanera o no en les concentracions de nutrients finals que s'aboquen a la badia.

Finalment es va realitzar una regressió lineal múltiple entre la salinitat mitjana de la badia i dues variables: la velocitat del vent i la precipitació neta, per estimar-ne la correlació parcial de cadascuna amb la salinitat tot controlant la influència de l'altre.

Respecte els nutrients i clorofil·la a del conjunt de dades entre 1990 i 1995 hem de ser cautelosos amb les conclusions sobre les tendències al llarg del període, ja que la sèrie ni tan sols arriba a la dècada. Es va excloure la concentració de fòsfor de les anàlisis paramètriques de tendències interanuals del període sencer i de la primera fase (1991-1993) per considerar exageradament anòmal el canvi de tendència general de la seva sèrie a principis de 1993, que es pensa que pot ser degut a un canvi en la metodologia emprada per la seva anàlisi a partir d'aquella data, coincidint amb el canvi de tècnic de laboratori que processava les mostres. En canvi es creu que no devia existir cap modificació substancial en la metodologia d'anàlisi de les diferents espècies de nitrogen inorgànic dissolt ni de clorofil·la a per que no s'observa cap canvi de la mateixa magnitud que el que es pot observar en les concentracions de fòsfor.

Resultats

El clima atmosfèric

El clima de la badia dels Alfacs és temperat, propi de les zones mediterrànies, amb temperatures càlides a l'estiu i suaus a l'hivern, poca precipitació, i altes evaporacions (Taula 2.6). La temperatura oscil·la entre 0 i 34 °C, presentant un cicle estacional característic (Figura 2.2a). La mínima, màxima i mitjana diària mostren un increment estadísticament significatiu (Taula 2.6) pel període considerat (1992-1999), essent la temperatura mínima diària la que presenta un augment més notori (0.27 °C a⁻¹, o un total de més de 2 °C per al vuit anys considerats).

Taula 2.6 Rang de valors de les variables climatològiques per tot el període 1992-1999 i correlació amb el temps en dies. Les dades originals procedeixen de l'observatori d'Amposta del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya.

Variable	Mitjana	Mínim	Màxim	Desv. est.	N	p<0.05	Var. = a + b * Data(dies)		
							a	b	r
Tmàx (°C)	21,0	6,2	33,9	5,34	2770	*	2.168	0.00054	0.08
Tmín (°C)	12,5	-1,1	24,3	5,68	2770	*	-13.31	0,00074	0.10
Tmit (°C)	16,6	3,9	26,9	5,39	2770	*	-5.905	0.00064	0.10
HUmín (%)	59,8	14,0	100	18,78	2744	*	-193.5	0.00723	0.31
HUmit (%)	81,7	29,0	100	14,64	2744	*	-133.6	0.00614	0.34
VVmàx (m s ⁻¹)	8,79	2,00	36,5	3,78	2790	*	-30.11	0.00111	0.23
VVmit (m s ⁻¹)	2,83	0,70	11,9	1,50	2790		0.9074	0.00005	0.03
RG (MJ m ⁻²)	15,4	0,4	30,2	9,32	2790	*	-14.64	0.00085	0.07
PPT (l m ⁻²)	1,16	0	104,6	5,13	2790		-2.280	0.00010	0.02
ETo (l m ⁻²)	4,23	0	9,0	10,79	2790	*	6.793	-0.00013	-0.05
PPT-ETO (l m ⁻²)	-1,88	-9,00	103,3	5,84	2756		-9.073	0.00021	0.03

Tmàx, Tmín i Tmit: temperatura màxima, mínima i mitjana respectivament. HU mín i HU mit: Humitat mínima i mitjana respectivament. VVmàx, VVmit, DV: Velocitat màxima, mitjana i Direcció del vent. RG, RN: Radiació global i neta respectivament. PPT: Precipitació total acumulada. ETo: Evapotranspiració De referència. PPT-ETo: aports nets d'aigua dolça via atmosfèrica (Precipitació Total - Evapotranspiració de referència). Respecte les irradiàncies o radiacions solars, la global (RG) indica la quantitat de calor que arriba al terra i la neta (RN) es defineix com la radiació solar absorbida realment pel sòl i és el resultat de restar la radiació emesa pel terra de la incident del Sol. Les seves unitats són MegaJoules per metre quadrat en els resums diaris de l'observatori, però en Watt m⁻² en els mateixos registres però de tipus horari. r = coeficient de correlació. Les regressions lineals estadísticament significatives (p<0.05) s'han marcat amb un asterisc en la columna corresponent.

La humitat relativa es troba entre el 30% i el 100% (mitjanes diàries, Figura 2.2b). També presenta un augment significatiu al llarg dels 8 anys (2.63 % a⁻¹ per la mínima i 2.24 % a⁻¹ per la mitjana).

La velocitat mitjana diària del vent generalment es troba per sota dels 5 m s⁻¹ (Figura 2.2c), podent arribar a valors màxims horaris de fins a 36.5 m s⁻¹. Aquestes màximes s'han incrementat en 0.4 m s⁻¹ any⁻¹, ó el que és el mateix, 3.2 m s⁻¹ pels vuit anys considerats, mentre que la velocitat mitjana no ha mostrat tendències de canvi significatives. La direcció predominant del vent (Figura 2.3) és NW

(Mestral), especialment a l'hivern i a la tardor, mentre que a l'estiu i, sobre tot, a la primavera, hi han molt dies en que el vent bufa de SE a SW (Xaloc, Migjorn o Garbí).

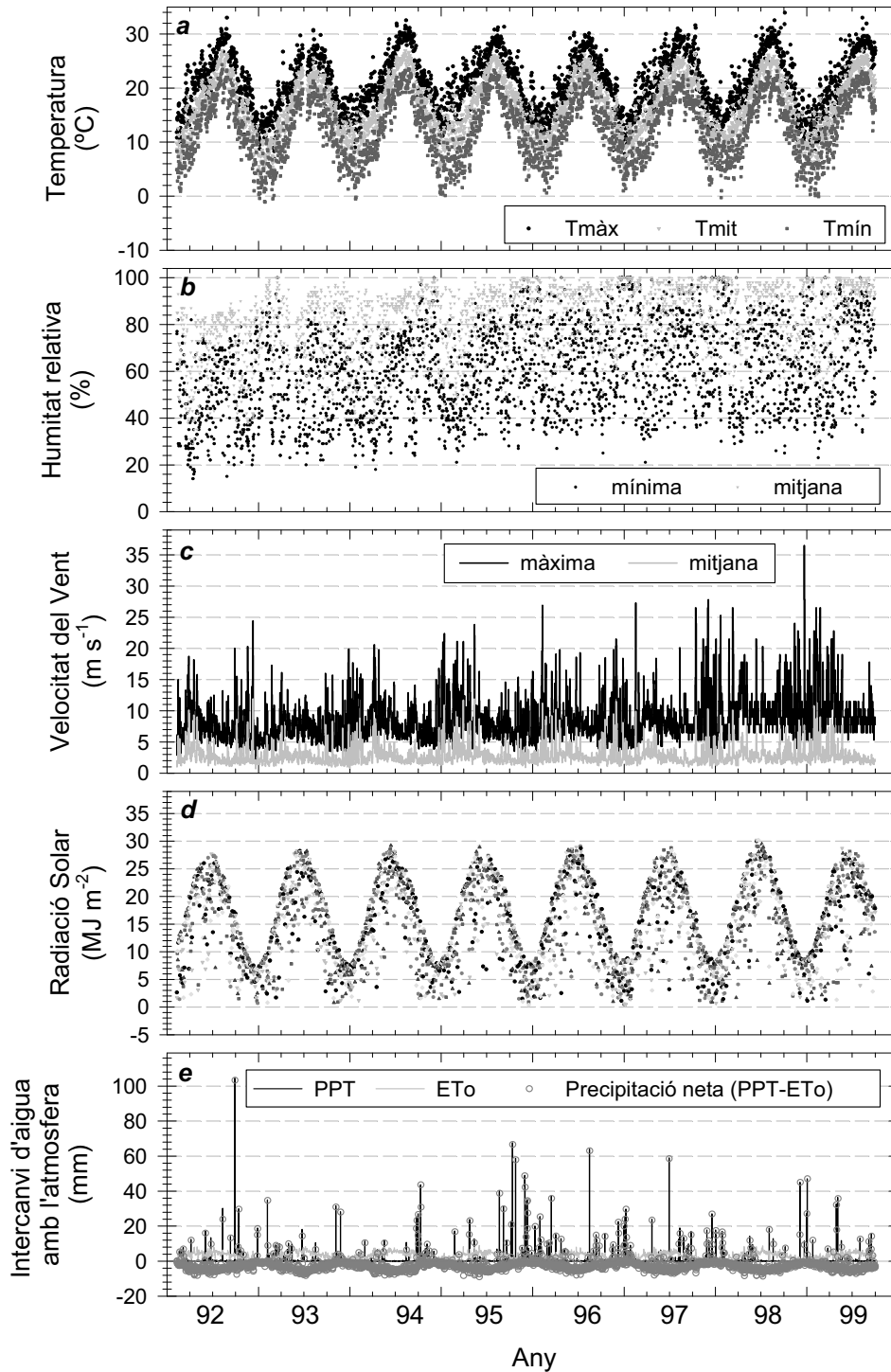


Figura 2.2 Climatologia dels Alfacs entre 1992 i 1999. (a) Temperatura (màxima, mitjana i mínima, en °C), (b) Humitat relativa (mínima i mitjana, en %), (c) Velocitat del vent (màxima i mitjana, en m s^{-1}), (d) Radiació Solar (global i neta, en MJ m^{-2}), (e) intercanvi d'aigua amb l'atmosfera (Precipitació Total-PPT, Evapotranspiració de referència-ETo, i balanç hídric net o precipitació neta, mesura com PPT-ETo; totes tres en mm ó l m^{-2}). Les dades procedeixen de l'estació meteorològica d'Amposta-DARP i corresponen a mitjanes diàries, excepte les de precipitació i evaporació, que corresponen a valors acumulats diaris.

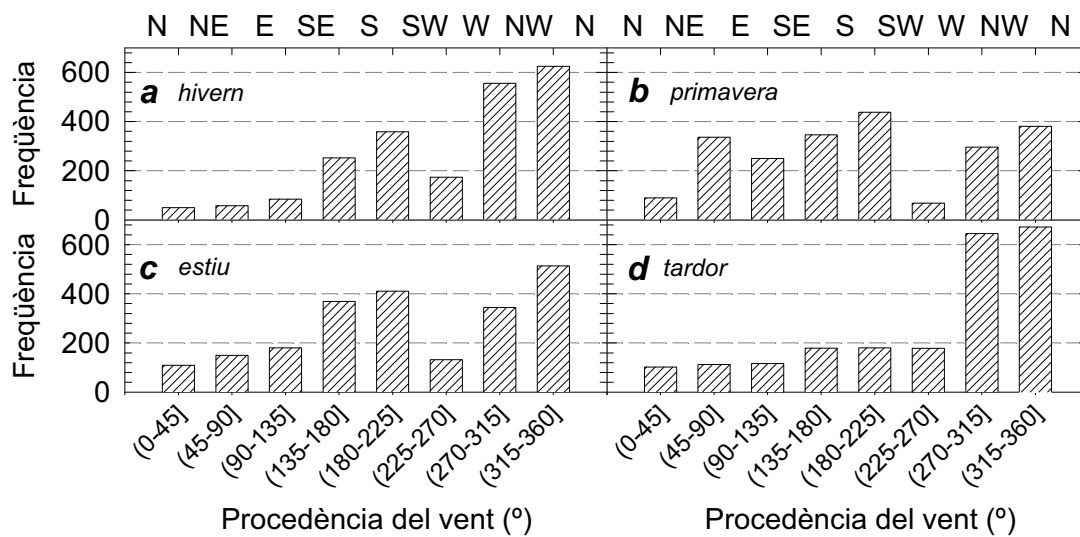


Figura 2.3 Distribució de freqüències de l'orientació del vent. Valors horaris de 1997 de l'estació meteorològica d'Amposta (n=8759): (a) hivern, (b) primavera, (c) estiu, (d) tardor.

La radiació solar incident (Figura 2.2d) oscil·la entre valors inferiors a 1 i els 30 MJ m⁻² dia⁻¹, el que equival aproximadament a uns màxims diaris de radiació instantània de 830W m⁻² a l'estiu i 220 W m⁻² a l'hivern. La radiació solar mostra un increment significatiu de l'ordre de 0.00085 MJ m⁻² día⁻², (de l'ordre d'un 0.006% d'increment, que equival a 0.31 MJ m⁻² més cada any) malgrat la seva correlació amb el temps és molt baixa a causa de l'elevada variabilitat en la radiació incident (r=0.07).

La precipitació total (PPT) acumulada diària ronda, per terme mig, el mil·límetre ó litre per metre quadrat, si bé la distribució és força irregular, amb més precipitació en general en els mesos de tardor (la màxima, veure capítol anterior) i hivern, amb d'algunes pluges torrencials a primavera o estiu també. L'evapotranspiració de referència (ET₀) segueix un cicle similar al de la temperatura, i, juntament amb la precipitació, genera un intercanvi d'aigua amb l'atmosfera (precipitació neta, PPT-ET₀) que significa guanys nets per a la badia els dies de pluja generalment iguals o superiors als 5 l m⁻² (Figura 2.2e). Ara bé, la resta del temps, el balanç net és favorable a l'evaporació, i en mitjanes diàries per a tot el període 1992-1999, s'evapora unes quatre vegades més quantitat d'aigua que la que precipita (pèrdues en el balanç net, o "precipitació neta" negativa, segons la variable representada a la figura).

Irradiància subaquàtica

El coeficient d'extinció de la llum a la columna d'aigua oscil·la aproximadament entre 0.3 m⁻¹ a l'abril i 0.6 m⁻¹ a finals de setembre de 1997 (Figura 2.4). Això provoca que la llum al fons estigui generalment compresa entre 100 i 1000 μmol m⁻² s⁻¹ (Figura 2.5), el que representa entre un 5 i un 20% de la irradiància subsuperficial.

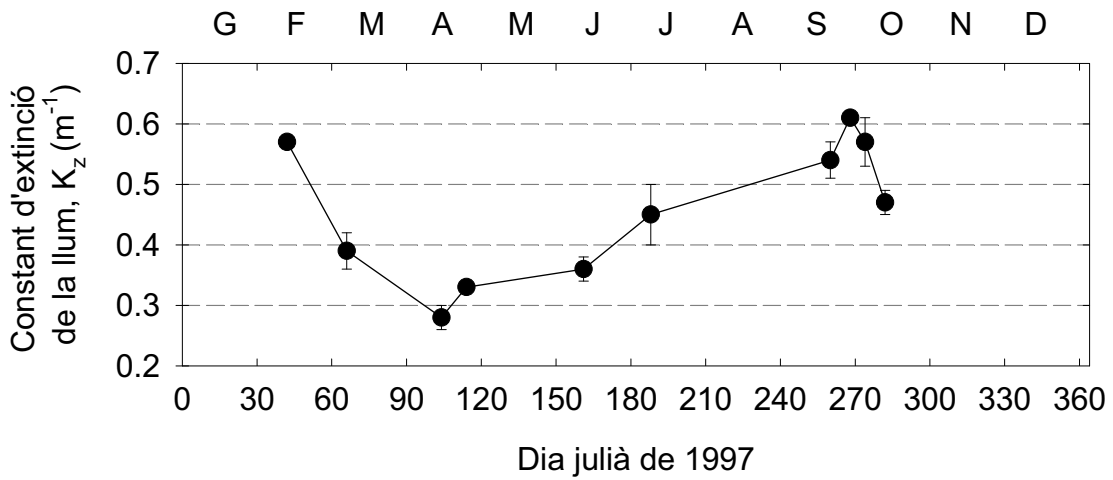


Figura 2.4 Coeficient d'extinció de la llum (k_z) mesurat *in situ* a la columna d'aigua (m^{-1}).

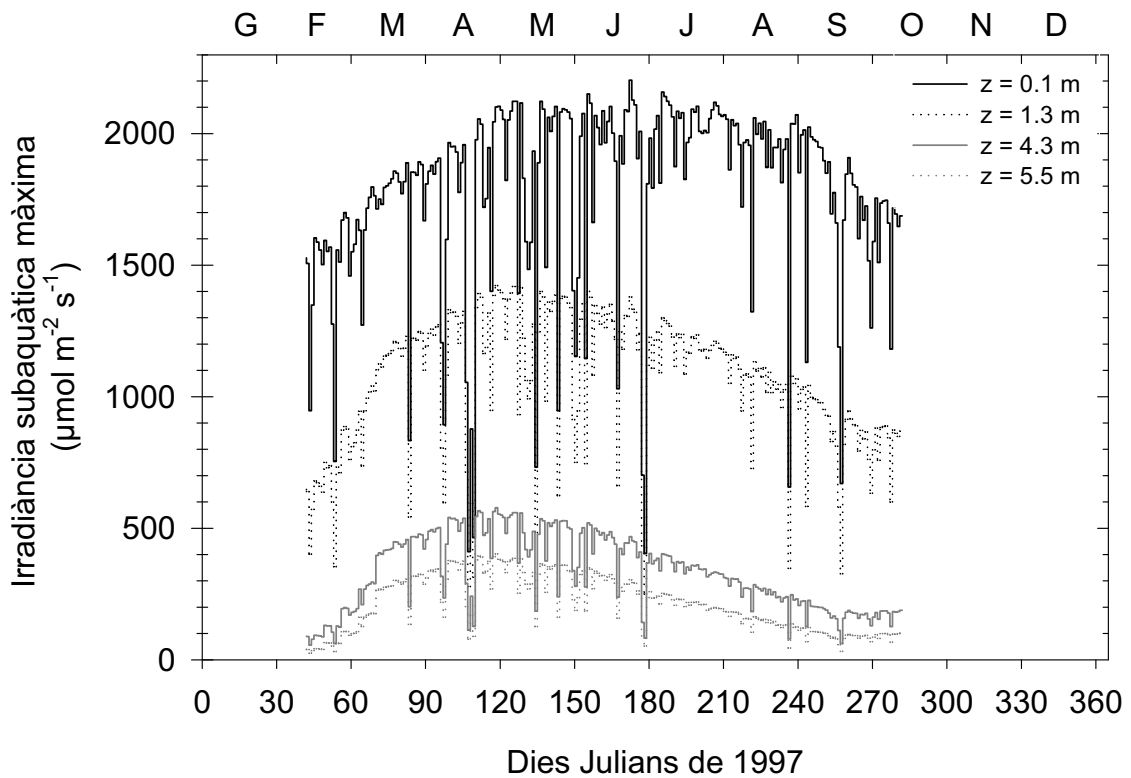


Figura 2.5 Irradiància subaquàtica calculada a diverses fondàries de la columna d'aigua a partir de l'extinció exponencial negativa amb el coeficient k_z .

Salinitat, temperatura, oxigen i relacions amb altres variables

Existeix un gradient marcat de salinitat en fondària, amb la picnoclina (haloclina) situada generalment prop dels 3 m (Figura 2.6). Les diferències de salinitat entre la capa inferior i la capa superior solen estar entre 2 i 4 psu la major part de les vegades (Figura 2.7), existint situacions esporàdiques de barreja, de molt curta durada i que aviat evolucionen cap a la re-estratificació.

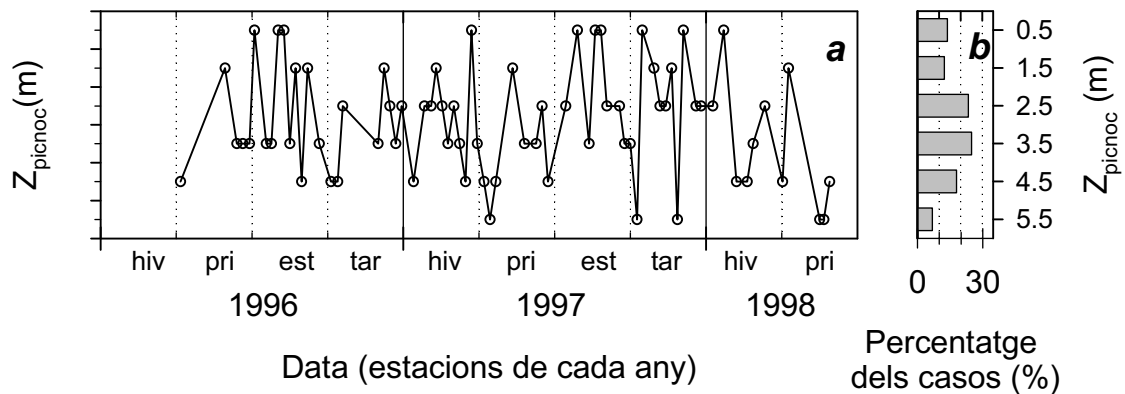


Figura 2.6 Fondària de la picnoclina a la badia dels Alfacs: (a) valors discrets per cada moment de mostreig, (b) histograma de freqüències de l'aparició de cada fondària. Les dades corresponen al període 1996 i 1998 (CNA-DARP).

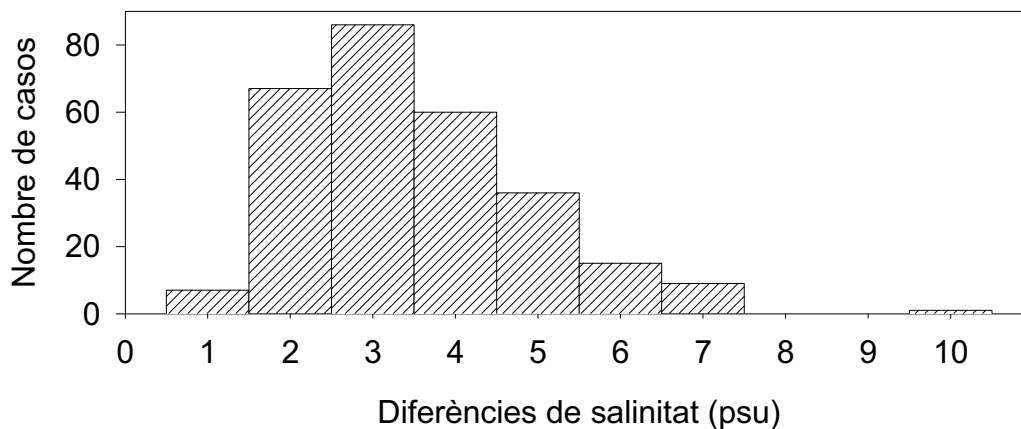


Figura 2.7 Diferències de salinitat (psu) entre la capa inferior i la capa superficial del punt central de la Badia dels Alfacs. Dades setmanals de 1990-1998 (n=280).

La salinitat es mou entre 30 i 36 psu aproximadament per sobre de l'haloclina (capa superficial, de 0 a 3 m), mentre que la capa profunda (de 3 a 6-6.5 m) presenta valors entre 34 i 38 psu (Figura 2.8a). La temperatura de l'aigua oscil·la entre prop dels 8 °C i prop dels 30 °C (Figura 2.8b), amb diferències petites sobre l'eix vertical. L'oxigen dissolt per altra banda es troba en la capa superficial entre els 6 i els 11 mg O₂ l⁻¹ generalment, i en la capa profunda entre els 3 i els 10 mg O₂ l⁻¹, si bé alguns anys s'han manifestat valors per sota del límit de la hipòxia (3 mg O₂ l⁻¹), com ha succeït a tardor 1992-hivern 1993 i de forma molt més pronunciada el 1994 (Figura 2.8c).

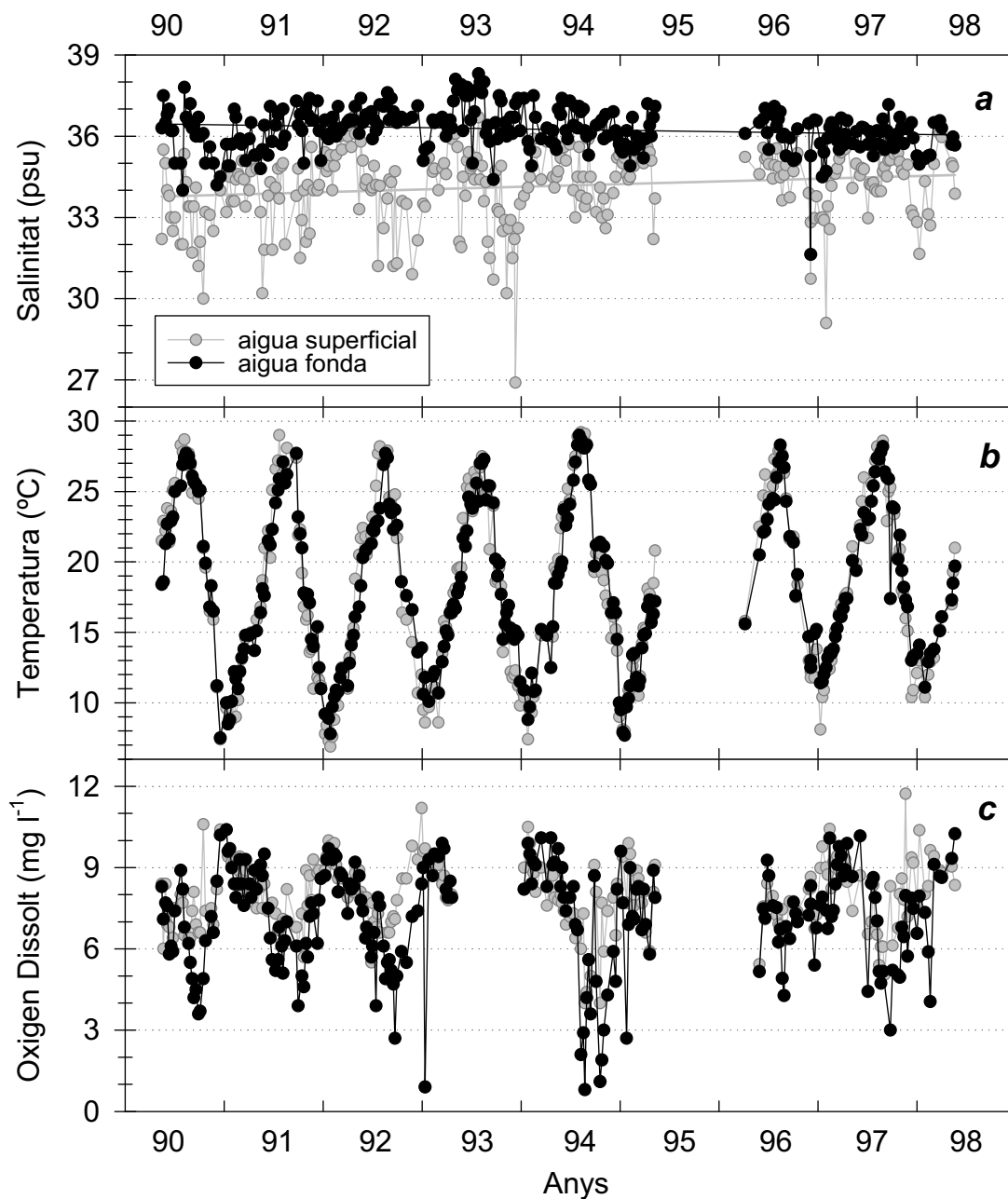


Figura 2.8 Sèries temporals de (a) salinitat (psu), (b) temperatura (°C) i (c) oxigen dissolt (mg l⁻¹), corresponents a l'aigua superficial (sèrie clara) i fonda (sèrie fosca) del punt mig de la Badia dels Alfacs, entre 1990 i 1998. Les línies contínues representen les tendències significatives al llarg del temps (per la salinitat superficial, $S = 33.7 + 2.72 \cdot 10^{-4} T$, $p < 0.01$, T en dies, i per la profunda, $S = 36.5 - 1.37 \cdot 10^{-4} T$, $p < 0.05$).

La diferència de salinitat entre la capa de fons i la capa superficial es troba correlacionada amb la velocitat del vent (Figura 2.9, $r = 0.46$, $p < 0.001$, $n = 61$). La velocitat mitjana mensual necessària per barrejar totalment la columna d'aigua (estimada a partir del punt de tall de la recta de regressió $Y = 4.58 - 0.89X$ en l'eix de les abscisses) es troba als 5.15 m s^{-1} . Aquesta velocitat "llindar" correspon a vents teòrics, que no s'han observat mai en el camp durant el període estudiat.

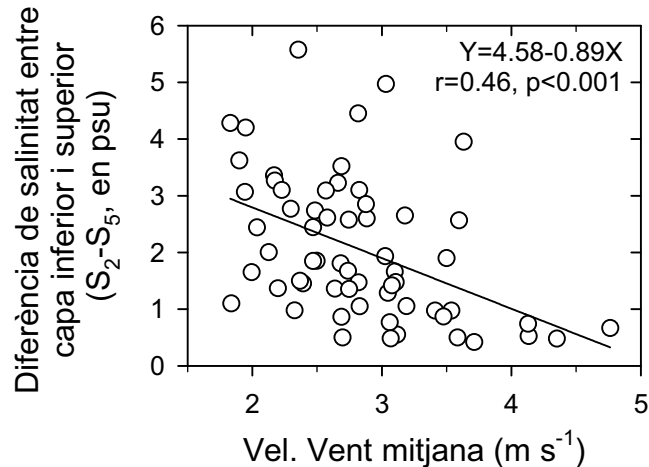


Figura 2.9 Efecte de la velocitat del vent (m s^{-1}) sobre l'estratificació de la columna d'aigua, representada per la diferència de salinitat mitjana entre la capa de fons (S_2 , en psu) i la de superfície (S_5). Les dades són mitjanes mensuals del període 1992-1997 ($n=61$). La intersecció de la recta de regressió amb l'eix horitzontal és a $x=5.15 \text{ m s}^{-1}$, i indica la velocitat del vent estimada a la qual es perdria totalment l'estratificació.

La Salinitat i la concentració d'oxigen dissolt mostren una variació estacional que pot ser no és gaire aparent a la Figura 2.8, però que es fa palesa en treballar amb mitjanes mensuals (Figura 2.10). Abril és el mes més càlid en que els canals es troben tancats i per tant presenta la salinitat mitjana de les dues capes més alta de tot l'any; a partir de quan arriba l'aigua de rec i desguàs dels arrossars pels canals d'entrada a la badia i la salinitat disminueix progressivament fins a setembre-octubre, en que es tornen a tancar els canals (Figura 2.10a). Aquesta salinitat mitjana de les dues capes, a la vegada, es veu influïda per la precipitació neta (Figura 2.10b) i les seves variacions al llarg de l'any són en general oposades. El pic de màxim dèficit hídric (150 mm) es situa al juliol, amb molt poca variància entre els diferents anys; el majors guanys nets d'aigua es mostren el mes de desembre (35 l m^{-2}). La velocitat del vent presenta un màxim anual destacable a l'abril, amb valors diaris mitjans de 3.8 m s^{-1} i màxims de 10.5 m s^{-1} (Figura 2.10c, d). L'oxigen dissolt mitjà de la columna d'aigua manifesta valors propers als $8\text{-}9 \text{ mg l}^{-1}$ durant els primers 5 mesos de l'any, durant juny i juliol baixa als 7 mg l^{-1} , i a l'agost mostra el valor mínim de l'any, a prop dels 6 mg l^{-1} que manté durant 3 mesos. No és fins a partir de desembre en que es mostra una recuperació (Figura 2.10e). Per capes s'observa que en general la capa inferior té menor concentració d'oxigen que la superior excepte en abril i maig en que la mitjana dels valors de la capa fonda és més alta que els de la capa superior (Figura 2.10f). Les majors diferències entre la concentració de les dues capes es troben en agost, setembre i octubre.

Per al període entre mitjans de 1996 i principis de 1998 per al qual es disposen de perfils en fondària, la salinitat setmanal mitjana de les dues capes oscil·la entre valors poc per sobre dels 36 psu entre març i abril, i valors al voltant dels 34 psu al desembre-gener-febren (Figura 2.11a). La precipitació neta (PPT - ETo) en general mostra un balanç negatiu de menys d'una desena de l m^{-2} , excepte en ocasions estivals puntuals en que es poden donar pluges torrencials característiques del clima mediterrani que ocasionen un superàvit d'entre una desena de l m^{-2} i prop dels 60 l m^{-2} (Figura 2.11b).

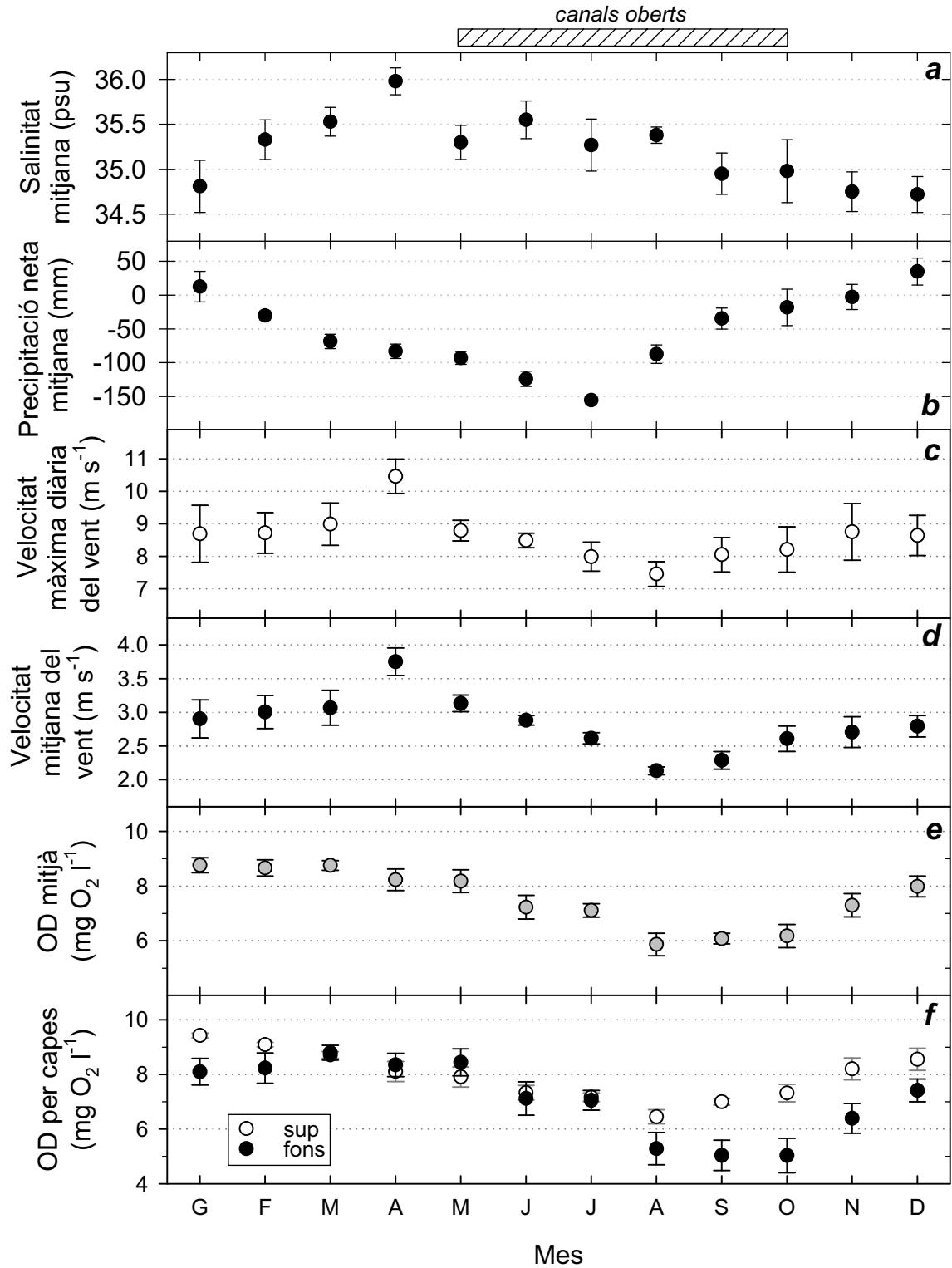


Figura 2.10 Evolució mensual mitjana durant la dècada dels 90 de: (a) salinitat (psu), (b) PPT-ETo acumulada (mm ó l m⁻²), (c) velocitat màxima diària del vent (m s⁻¹), (d) velocitat mitjana del vent (m s⁻¹), (e) oxigen dissolt de tota la columna d'aigua (mg l⁻¹), (f) oxigen dissolt per capes, superficial de color blanc, fonda de color negre.

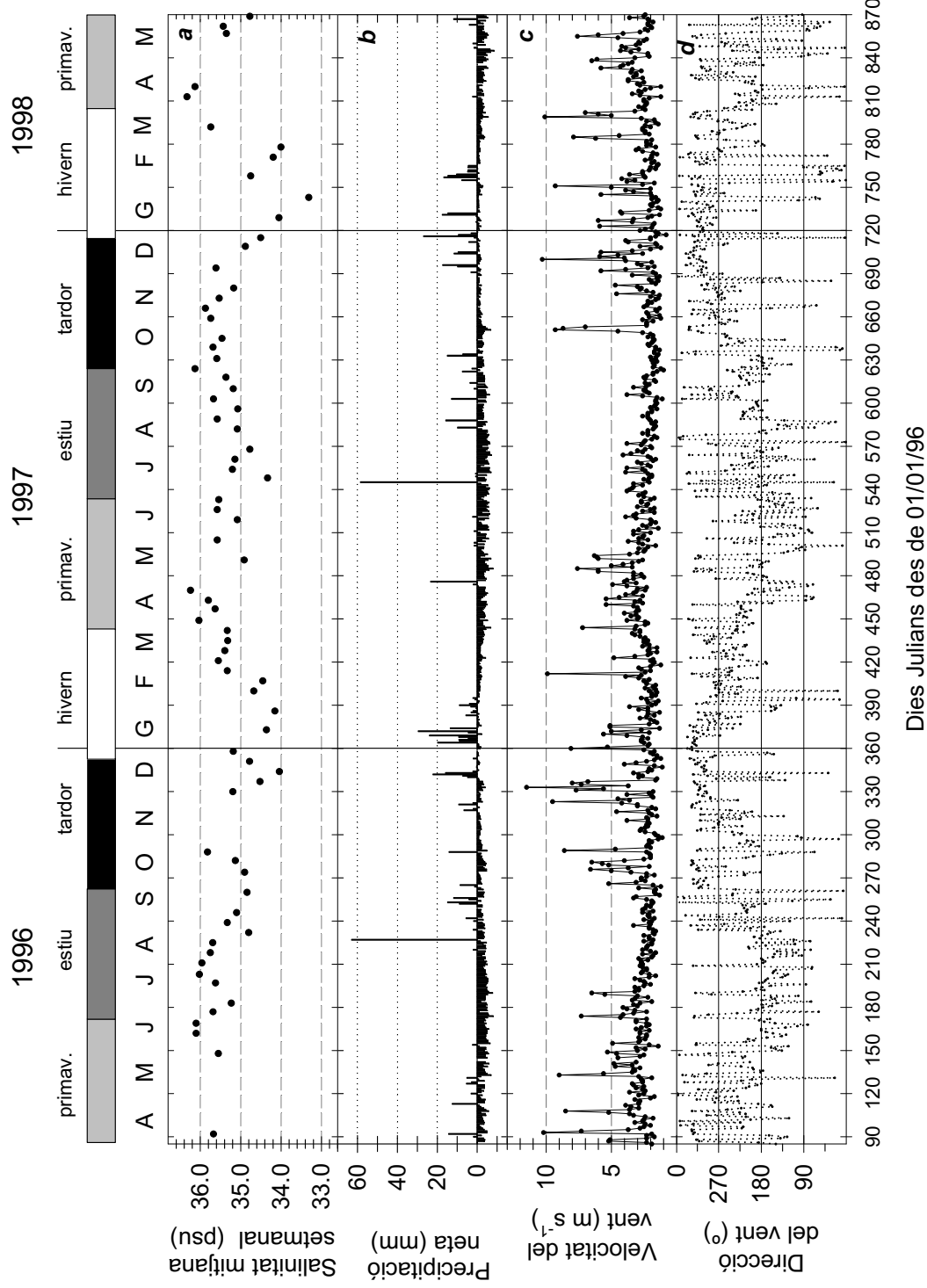


Figura 2.11 Evolucions de: (a) salinitat mitjana setmanal per tota la columna d'aigua (psu), (b) PPT-ETo acumulada diària (mm), (c) velocitat del vent mitjana diària (m s⁻¹), (d) orientació del vent mitjana diària (°), durant el període de 1996-98.

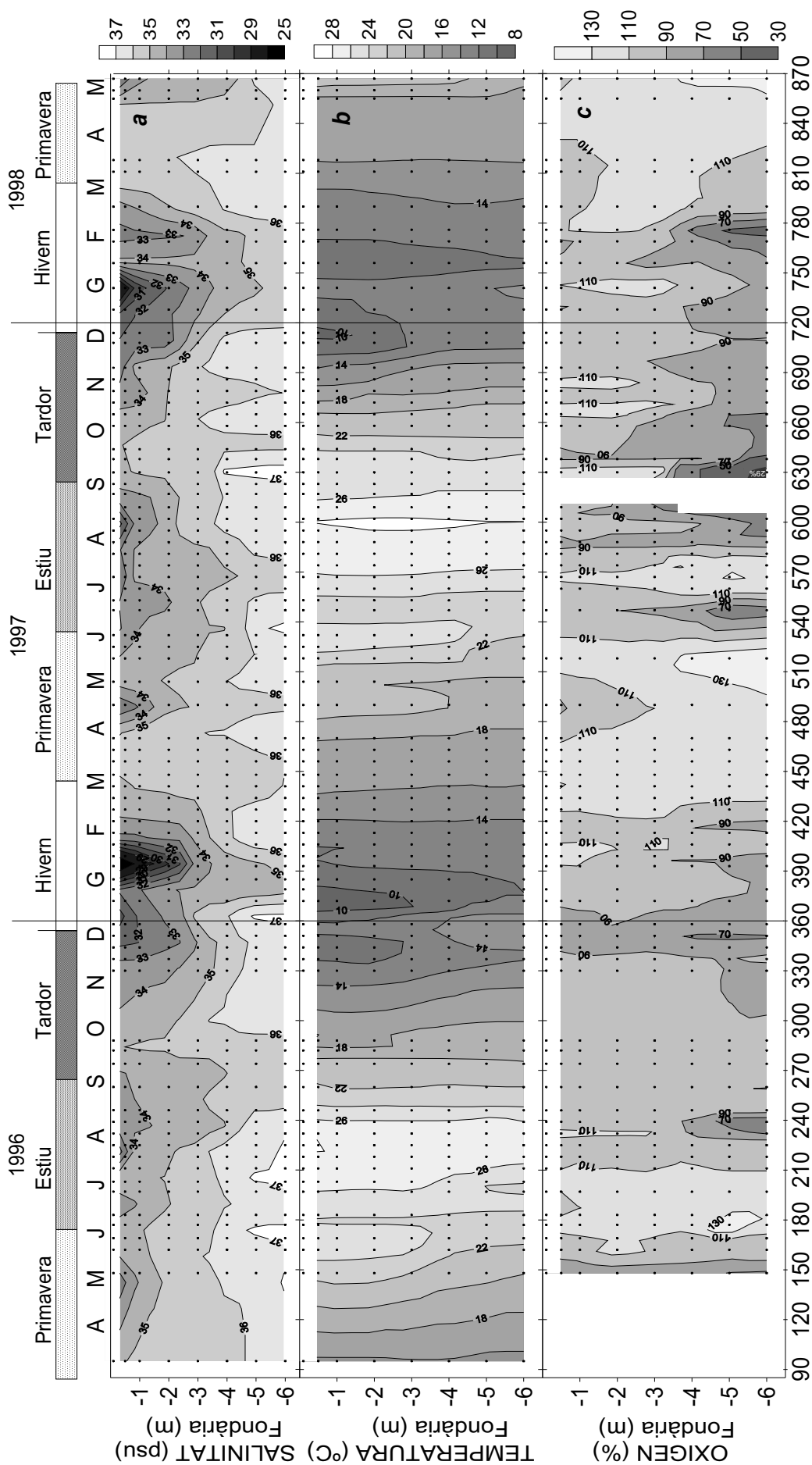


Figura 2.12 Evolució de (a) salinitat (psu), (b) temperatura (°C) i (c) oxigen dissolt (% de saturació) del punt mig de la Badia dels Alfacs (1996-98).

El vent va bufar amb una velocitat instantània d'entre 0.5 m s^{-1} i els 4 m s^{-1} prop del 75 % del temps, aproximadament (en aquest cas calculat per a tot l'any 1997 com a exemple d'any sencer). Les velocitats mitjanes diàries del període 96-98 van ser superiors a la unitat i properes als 4 m s^{-1} , arribant en ocasions de tardor i hivern a posar-se al voltant dels 10 m s^{-1} (Figura 2.11c). La pràctica totalitat de vents superiors als 5 m s^{-1} són de Mestral (quart quadrant, i.e., entre 270 i 360°), com es pot observar al gràfic de procedència mitjana diària del vent (Figura 2.11d).

La distribució vertical de la salinitat mostra gradients de salinitat en fondària, amb una capa de mes de 36 psu al fons de la badia que desapareix durant períodes que van entre les dues i cinc setmanes, aproximadament (Figura 2.12a). L'estratificació salina només es trenca totalment en situacions molt puntuals (com durant la segona quinzena de març de 1997). Les diferències de temperatura entre superfície i fons solen ser inferiors a $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$; això fa que aquesta variació no es vegi reflectida en un gràfic d'isotermes cada $2 \text{ }^\circ\text{C}$ malgrat ser-hi present (Figura 2.12b) i només ressaltin les diferències de major intensitat. L'oxigen manifesta una pauta de variació més complexa (Figura 2.12c), amb algunes pujades per sobre de saturació en situacions concretes com les de finals de primavera (del 18 al 28 de juny per 1996, del 4 de maig al 3 de juny per 1997, a partir de principis de maig per 1998), davallades en fondària durant l'estiu (del 7 al 27 d'agost per 1996, del 23 de juny al 13 de juliol i a partir del dia 11 de setembre i fins finals de mes per 1997) i algunes altres davallades excepcionals en situacions hivernals (del 29 de gener al 18 de febrer, per 1998).

Al llarg de tot el període del que es disposen dades, la salinitat s'incrementa lleugerament en la capa superficial i disminueix lleugerament en la capa profunda (Taula 2.7). No es veu cap tendència clara en la temperatura de l'aigua de la Badia en analitzar el conjunt de dades disponible (Taula 2.8) però, en canvi, si s'analitza específicament l'evolució de la temperatura mínima anual de la capa fonda, es pot observar com l'augment ha estat estadísticament significatiu i notable, de l'ordre de mig grau per any ($p < 0.05$, Figura 2.13).

Taula 2.7 Regressions lineals de les salinitats (en psu) de la capa superficial i profunda respecte el temps (en dies), a partir de les dades mostrades en la Taula 2.5.

$S = a + bT$			
Capa	a	b	p
Superficial	33.7	2.72×10^{-4}	**
Profunda	36.5	-1.37×10^{-4}	*

(* = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$)

D'altra banda, existeix una bona correlació entre la temperatura mínima aèria de la zona del Delta de l'Ebre i la temperatura de l'aigua a 6 m de fondària a la badia dels Alfacs ($r^2 = 0.77$, $n = 171$, $p < 0.001$, Figura 2.14) sense manifestar cap decalatge temporal entre les dues sèries

(dades no mostrades). A partir de la tendència observada a augmentar la temperatura mínima aèria diària es pot inferir que la temperatura de l'aigua a 6 metres de fondària ha augmentat (Taula 2.9), estimant-se un increment de 0.2 °C per any, quasi 2 °C pel període estudiat.

Taula 2.8 Temperatures mínimes mensuals i anuals (C) de l'aigua de la capa fonda de la badia dels Alfacos entre 1990 i 1998.

Mes	Any										Total
	90	91	92	93	94	95	96	97	98		
1		8.5	7.8	10.1	8.8	7.7		11.4	11.1	7.7	
2		11	9.7	11.9	9.7	11.2		13.2	12.9	9.7	
3		13.2	11.8	10.7	15.2	11.2		14.7	13.8	10.7	
4		13.7	11.2	14.8	12.5	14.9	15.6	16.7		11.2	
5	18.4	15.1	16.8	16.7	18.5	16.3	20.5	19.4	17.3	15.1	
6	21.6	21.2	20.8	21.1	22.6		22.1	21.9		20.8	
7	25	24.2	22.2	23.8	25.8		24.1	23		22.2	
8	26.9	25.6	26.9	24.4	28.1		26.7	27.3		24.4	
9	25	27.7	22.3	20.2	19.7		21.8	17.4		17.4	
10	19.9	17.6	18.6	14.5	21.2		17.6	20.2		14.5	
11	16.5	14	16.6	14.9	16.4		14.7	16.8		14	
12	7.5	11	13.6	11.5	10		12.5	13		7.5	
Total	7.5	8.5	7.8	10.1	8.8	7.7	12.5	11.4	11.1	7.5	

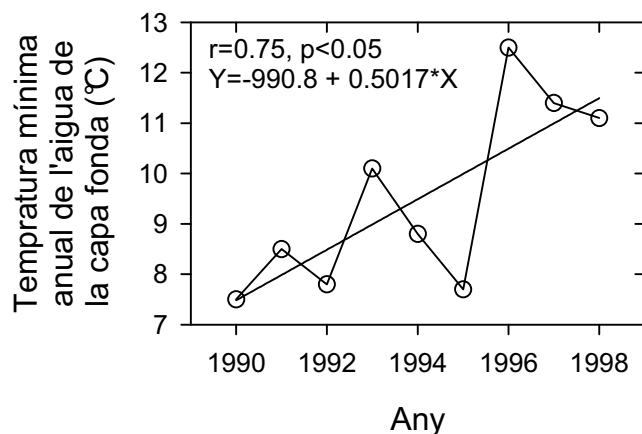


Figura 2.13 Evolució de la temperatura mínima (°C) de l'aigua de la capa fonda al llarg de la dècada dels anys 90.

Taula 2.9 Incrementos estimats de la temperatura (C) de l'aigua més fonda de la badia dels Alfacs (a 6m de fondària, en contacte amb la comunitat bentònica de l'ecosistema). Calculat a partir de la tendència d'increment de la temperatura mínima diària de l'aire (Taula 2.6) i de la correlació entre la aquesta i la temperatura de l'aigua de 6m de fondària (Figura 2.14).

Temps			Increment de temperatura de l'aigua de 6m de fondària
<i>anys</i>	<i>mesos</i>	<i>dies</i>	C
0	0.0	1	0.0006
0	0.3	10	0.0061
0	3.3	100	0.0612
1	12	360	0.2203
5	60	1800	1.1013
10	120	3600	2.2026

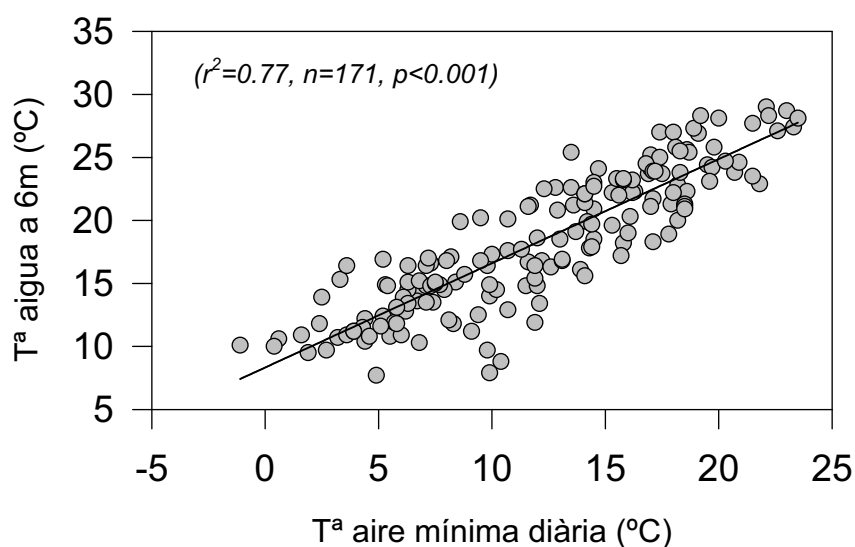


Figura 2.14 Relació entre temperatura mínima diària de l'aire i la temperatura de l'aigua de fons del punt central. Dades aparellades de l'estació meteorològica d'Amposta-DARP i dels diversos programes de recerca de qualitat de l'aigua a la Badia dels Alfacs, durant el període 1992-1998. La regressió lineal és estadísticament significativa .

En la sèrie temporal de dades de concentració de l'oxigen no es veu cap tendència significativa. La distribució de freqüències de classes de valors any per any faria sospitar una possible disminució de la moda d'1 mg O₂ l⁻¹ en els darrers anys (Figura 2.15, entre 8 i 9 mg l⁻¹ a 1991, 1992 i 1994; i entre 7 i 8 mg l⁻¹ a 1997). Aquesta tendència, però, no és estadísticament significativa, i per tant s'accepta la hipòtesi que l'oxigen dissolt no ha disminuït.

Els anys amb major salinitat van ser 1992 i 1994 (Figura 2.16a) que coincideix amb què van ser, alhora, els dos anys més secs (Figura 2.16b).

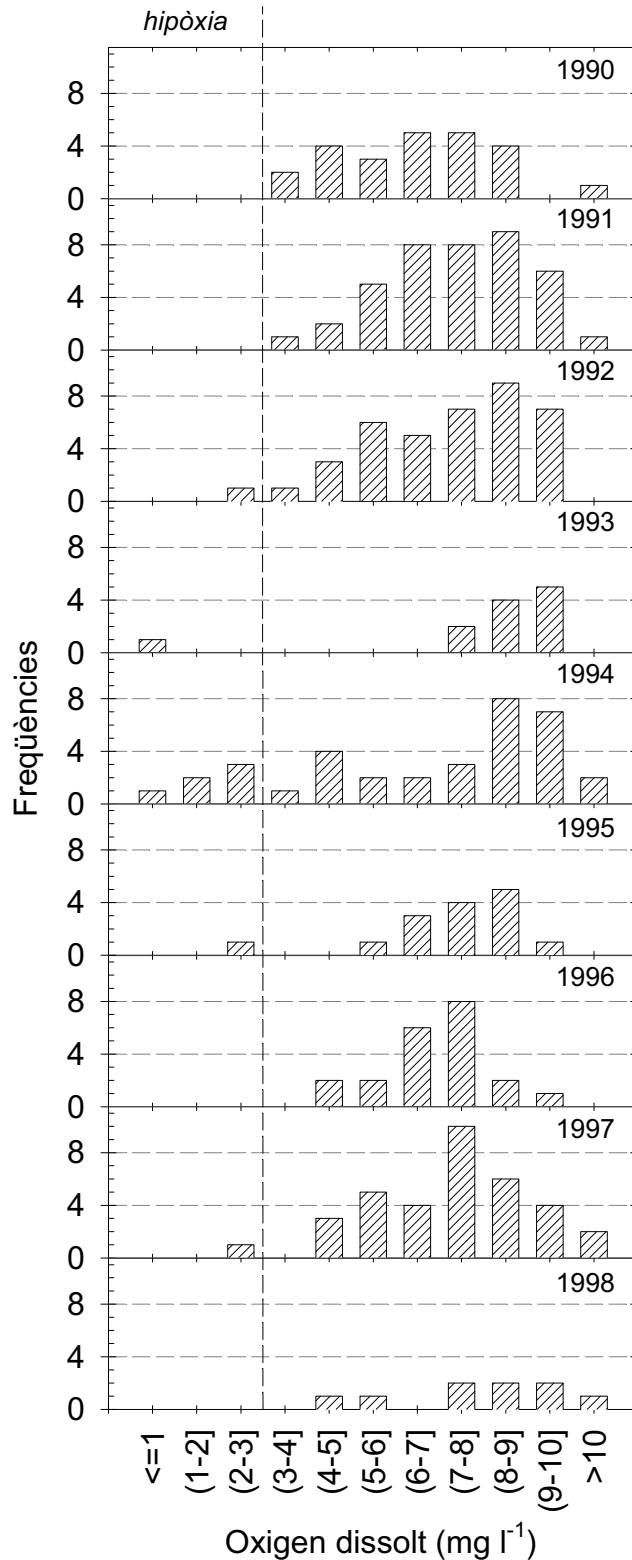


Figura 2.15 Distribució de concentracions d'oxigen dissolt a la capa profunda del punt central de la badia dels Alfacs. Dades setmanals entre 1990 i 1998 (n. anuals=12-38). A l'esquerra de la línia vertical queden els valors corresponents a situacions d'hipòxia.

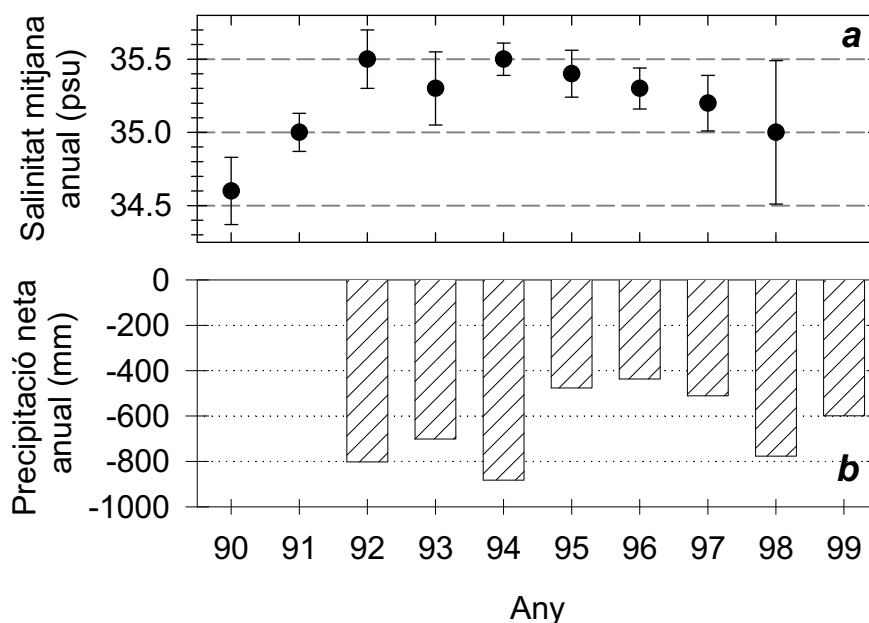


Figura 2.16 Salinitat del punt central i precipitació neta al llarg de la dècada dels 90. (a) Mitjanes anuals de salinitat, (b) precipitació neta acumulada anual.

Concentracions de nutrients i clorofil·la a

L'amoni (Figura 2.17a) presenta una alta variabilitat que pràcticament abasta tres ordres de magnitud, des de menys de dècimes fins a prop de deu micromolar. El nitrit (Figura 2.17b) mostra uns valors un ordre de magnitud inferiors als d'amoni mentre que el nitrat (Figura 2.17c) oscil·la en un rang semblant a l'amoni. El fosfat (Figura 2.17d) mostra poca variabilitat durant els primers dos anys, mantenint-se en les dècimes de micromolar. A partir d'inicis de 1993 davalla sensiblement fins a les centèsimes de micromolar amb una major variabilitat. El quocient entre la concentració de nitrogen inorgànic dissolt total i de fosfat (N/P) es troba entre les dècimes i la desena o fins i tot les centenes, com cap a la tardor de 1994 - hivern de 1995 (Figura 2.17e). La concentració de clorofil·la a (Figura 2.17f) es troba entre 1 i 10 mg m⁻³ la major part del temps, excepte a principis de primavera, en que baixa a concentracions inferiors, essent 1994 l'any que mostra els valors mínims absoluts de la sèrie (0.1 i 0.5 mg m⁻³ per a la capa fons i superficial respectivament).

Malgrat la seva alta variabilitat, es pot observar una certa estacionalitat en els valors de nitrat i nitrit (Figura 2.18b, c), davallant a principis d'any fins entrar la primavera, i acabant amb valors alts de nou ja a finals d'estiu i durant la tardor, a diferència de la sèrie d'amoni, en que no se n'observa cap (Figura 2.18a). En l'evolució del fosfat s'aprecia un cert increment cap a la primavera - estiu i un decrement a la tardor - hivern, essent les concentracions de setembre les més baixes d'entre els mesos de primavera, estiu i tardor (Figura 2.18d). El quocient N/P mostra els valors mínims anuals entre finals de primavera i mitjans d'estiu, i torna a mostrar un

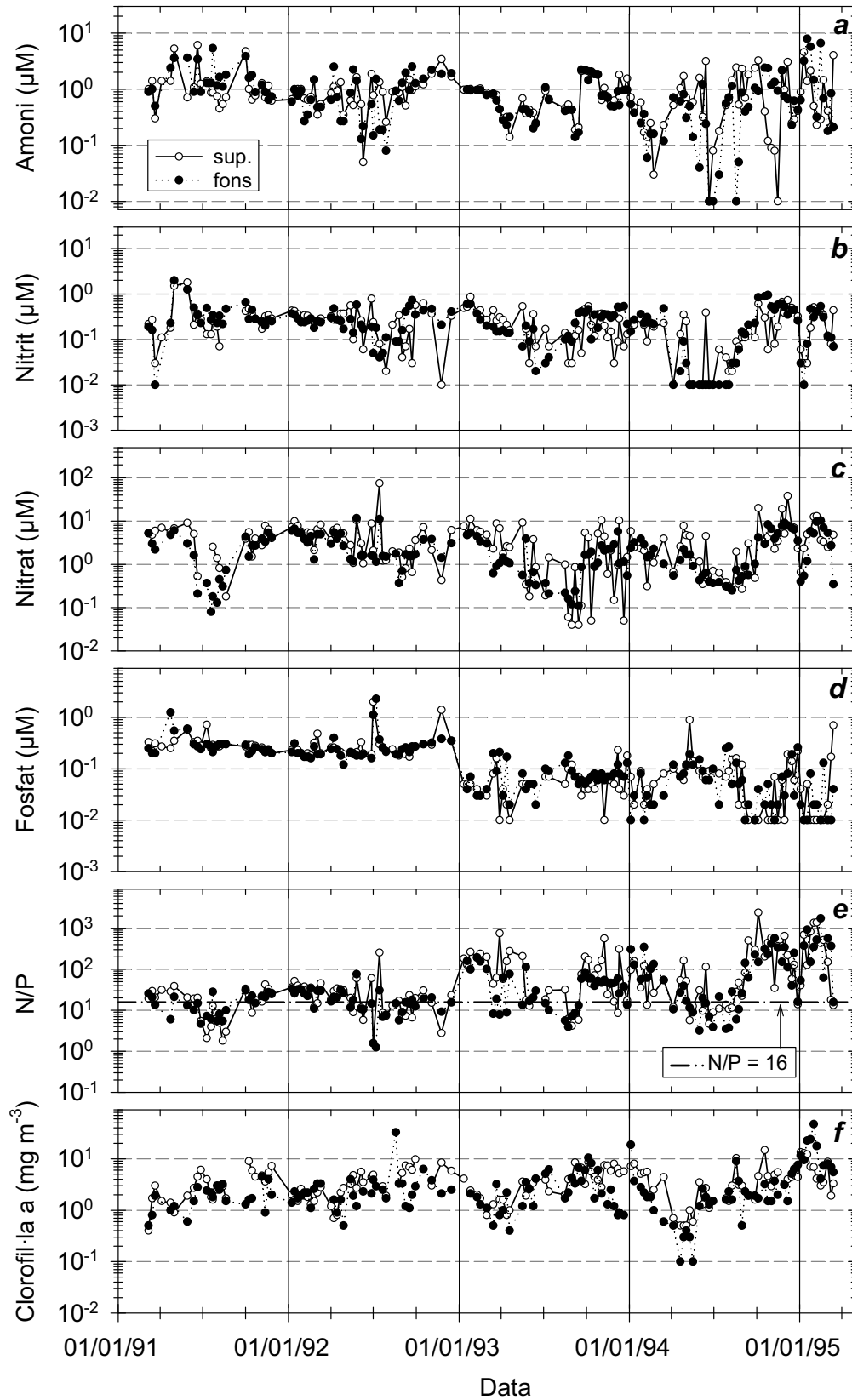


Figura 2.17 Concentració de nutrients i clorofil·la a en la columna d'aigua de la Badia dels Alfacs entre 1991 i 1995: (a) NH_4^+ , (b) NO_2 , (c) NO_3^- , (d) PO_4^{3-} , (e) N/P, (f) Clorofil·la a. Dades del Centre Nacional d'Aqüicultura-IRTA, expressades en μM excepte les de clorofil·la a, en mg m^{-3} .

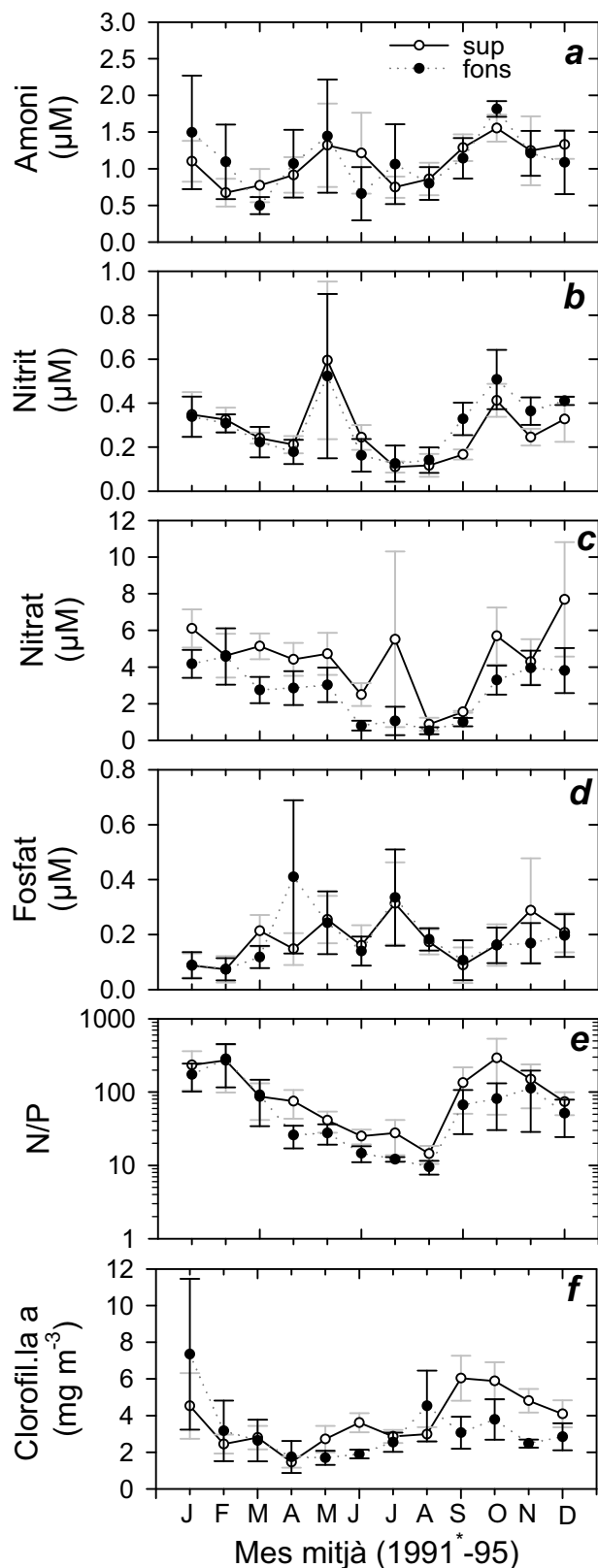


Figura 2.18 Evolució estacional de la concentració en la columna d'aigua de la badia dels Alfacs de: (a) amoni, (b) nitrit, (c) nitrat, (d) fosfat, (e) N/P, (f) clorofil·la a. Les unitats dels nutrients són μM i les de Cla són mg m^{-3} . Les dades són mitjanes de cada més de l'any per a tots els anys de que es disposa dades (* entre 1991 i 1995 excepte per Cla, entre 1990 i 1995), separades per capa superficial (sup.) i capa profunda (fons).

altre mínim relatiu a finals de tardor (a partir de novembre a la capa superficial i el desembre a les dues capes (Figura 2.18e). La concentració de clorofil·la a mostra una pujada anual des d'inicis de primavera fins a finals d'estiu o tardor, en que torna a descendir (Figura 2.18f). A partir de maig les concentracions de clorofil·la a de la capa fonda i superficial comencen a ser diferents, diferències que es mantenen fins novembre, amb l'excepció dels mesos de juliol i agost. Per als nutrients tan sols s'observa una diferència entre les mitjanes de les dues capes mantinguda la major part de l'any per al nitrat (Figura 2.18c).

Les concentracions de nutrients no mostren canvis significatius pel conjunt d'anys en que es disposen dades ($p > 0.05$, $n=141$, dades no mostrades). Ara bé, sembla que en aquests cinc anys ha hagut dos períodes amb diferents tendències: els tres primers anys (91-93), en que semblaria existir una davallada de la tendència general de les sèries de nutrients, i 1994 i inicis de 1995, en que algunes concentracions de nutrients semblen recuperar-se. L'anàlisi estadística d'aquests dos períodes per separat (Taula 2.10) confirma l'existència de tendències negatives estadísticament significatives entre 1991 i 1993 en el cas de les concentracions d'amoni ($p < 0.01$) i de nitrat ($p < 0.05$) de la capa de fons i de nitrit de la capa superficial ($p < 0.05$). Els resultats corresponents a 1994 mostren tendències estadísticament significatives però se les ha de prestar poca atenció aquí per tractar-se d'un sol cicle anual. La relació N/P, pel contrari, tendeix a augmentar 0.25 d^{-1} per la capa superficial, i 0.19 d^{-1} per la capa profunda ($p < 0.0001$ en ambdós casos, a partir del conjunt de dades de 1991-95; es mostren valors superiors a la Taula 2.10, que corresponen a considerar només les dades de l'any 1994, mostrades a Figura 2.17e, on hi ha un increment anual important d'aquesta relació N/P). Les concentracions de clorofil·la a, per la seva banda, també tendeixen a augmentar de l'ordre de $1.6 \times 10^{-3} \text{ mg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ a la capa superficial ($p < 0.01$) i de l'ordre de $3.7 \times 10^{-3} \text{ mg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ a la capa profunda ($p < 0.001$), per als 5 anys considerats (dades no mostrades).

Els histogrames de freqüències per a tot el període 1986-1997 indiquen que possiblement ha existit una disminució de les concentracions de les tres espècies químiques del nitrogen inorgànic dissolt al llarg de la dècada en el conjunt de tota la columna d'aigua (Figura 2.19a, Figura 2.20a, Figura 2.21a per a l'amoni, nitrit i nitrat, respectivament). Aquestes tendències es mostren estadísticament significatives per al nitrit i nitrat únicament (pendents igual a 5×10^{-4} i $5 \times 10^{-5} \text{ } \mu\text{M d}^{-1}$ respectivament, $p < 0.01$), però no per a l'amoni, ni per a la suma de tot el nitrogen inorgànic dissolt (Taula 2.11). Tampoc el fòsfor, el quocient N/P o la Cla mostren correlació significativa amb el temps, malgrat el que poguessin semblar alguns dels seus histogrames (Figura 2.22a, Figura 2.23a, Figura 2.24a) o a partir de la taula de dades (Taula 2.12). Per capes es poden observar en general les mateixes pautes de distribució de valors que s'ha descrit anteriorment en els histogrames (Figura 2.19b fins a Figura 2.24b).

Taula 2.10 Tendències temporals dins de la sèrie de concentració de nutrients entre 1991 i 1994^a. Es mostren els paràmetres de l'equació ($Y=Y_0+aX$) de les regressions estadísticament significatives: terme independent (Y_0), pendent de la recta (a), el coeficient de correlació (r), i el grau de significació (* quan $p<0.05$, ** quan $p<0.01$, *** quan $p<0.001$). Unitats: nutrients en μM , Clorofil·la a en mg m^{-3} , temps en dies. El fosfat del període 1991-1993 no s'ha inclòs en l'anàlisi (veure text per més detalls).

	1991 - 1993				1994 ^a				
	Y_0	a	r	p	Y_0	a	r	p	
NH_4^+	sup.								
	fons	66.1	-0.0009	0.31	**	-363	0.0051	0.42	**
NO_2	sup.	12.3	-0.0002	0.20	*	-32.4	0.0005	0.31	*
	fons					-38.6	0.0005	0.28	*
NO_3^-	sup.					-996	0.0141	0.28	*
	fons	130	-0.0018	0.25	*	-772	0.0109	0.48	***
PO_4^{3-}									
N/P	sup.					-42449	1.2	0.37	**
	fons					-32431	0.9	0.42	**
Cla	sup.					-560	0.0079	0.30	**
	fons	-177	0.0026	0.35	***	-1795	0.0253	0.40	**

^a S'ha indicat el segon període de la sèrie com a 1994 per correspondre a la major part de la sèrie malgrat també inclou l'inici de 1995 de que consta la sèrie.

Taula 2.11 Anàlisi de les concentracions de nutrients (μM), la taxa N/P i la concentració de clorofil·la a (Cla, mg m^{-3}) amb el temps, en la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997. Dades de diverses procedències ($n=344$, veure text per més detalls). S'han ombrejat els valors estadísticament significatius ($p<0.05$).

Variable	NH_4^+	NO_2	NO_3^-	NID	N/P	PO_4^{3-}	Cla
Data	0.00	-0.19	-0.13	-0.11	0.09	0.04	0.02
Cla	0.01	-0.07	-0.00	0.00	0.18	-0.12	1

Taula 2.12 Concentracions de Clorofil·la a mitjanes mensuals (mg m⁻³) entre 1990 i 1995. Dades del Centre Nacional d'Aqüicultura-IRTA.

Mes	90	91	92	93	94	95	mitjana
Capa superficial							
1		0,98	1,93	2,47	6,77	10,48	4,83
2		1,38	1,63	1,85	3,85	3,53	2,45
3		1,70	2,50	1,23	4,40	4,15	2,68
4		1,63	1,52	1,13	0,57	2,43	1,52
5	1,37	1,43	3,57	2,70	1,40	5,85	2,42
6	3,53	4,43	4,50	3,93	1,65		3,49
7	3,70	2,47	3,40	3,03	1,70		3,02
8	1,85	2,53	3,30	3,04	4,18		3,13
9	5,30	9,50	7,10	6,35	1,97		5,74
10	2,75	4,86	8,20	5,65	8,00		5,64
11	2,63	5,25	5,70	6,30	4,15		4,91
12	1,40	4,00	4,90	5,77	4,40		4,25
Mitjana	3,03	2,99	3,69	3,88	3,61	5,61	3,67
Capa profunda							
1		0,90	1,83	2,67	8,40	22,96	8,36
2		0,80	2,03	1,55	1,70	9,73	2,96
3		1,07	3,30	1,40	0,60	6,80	2,80
4		0,90	1,15	1,20	0,30	5,18	1,98
5	1,00	1,10	2,37	2,43	0,50	2,75	1,54
6	1,40	1,43	2,20	2,65	1,80		1,79
7	2,20	2,13	2,20	4,60	1,60		2,66
8	2,20	2,55	12,20	2,24	3,42		4,18
9	5,35	0,90	2,10	4,93	2,03		3,45
10	2,60	1,30	6,30	6,60	2,13		3,39
11	2,20	2,85	2,95	1,78	2,58		2,43
12	1,75	3,10	3,40	0,83	5,13		3,04
Mitjana	2,46	1,63	3,11	2,84	2,68	11,21	3,30
Columna d'aigua							
1		0,94	1,88	2,57	7,58	16,72	6,59
2		1,09	1,83	1,70	2,78	6,63	2,71
3		1,38	2,90	1,33	2,50	5,29	2,74
4		1,34	1,36	1,17	0,43	3,80	1,73
5	1,18	1,26	2,97	2,57	0,95	4,30	1,98
6	2,46	2,93	3,58	3,42	1,73		2,69
7	2,95	2,30	2,73	3,82	1,65		2,83
8	2,03	2,54	9,98	2,64	3,80		3,69
9	5,33	5,20	4,60	5,64	2,00		4,59
10	2,68	3,08	7,25	6,13	5,07		4,51
11	2,42	4,05	4,33	4,29	3,36		3,71
12	1,58	3,55	4,15	3,30	4,76		3,65
Mitjana	2,75	2,32	3,40	3,37	3,15	8,33	3,49

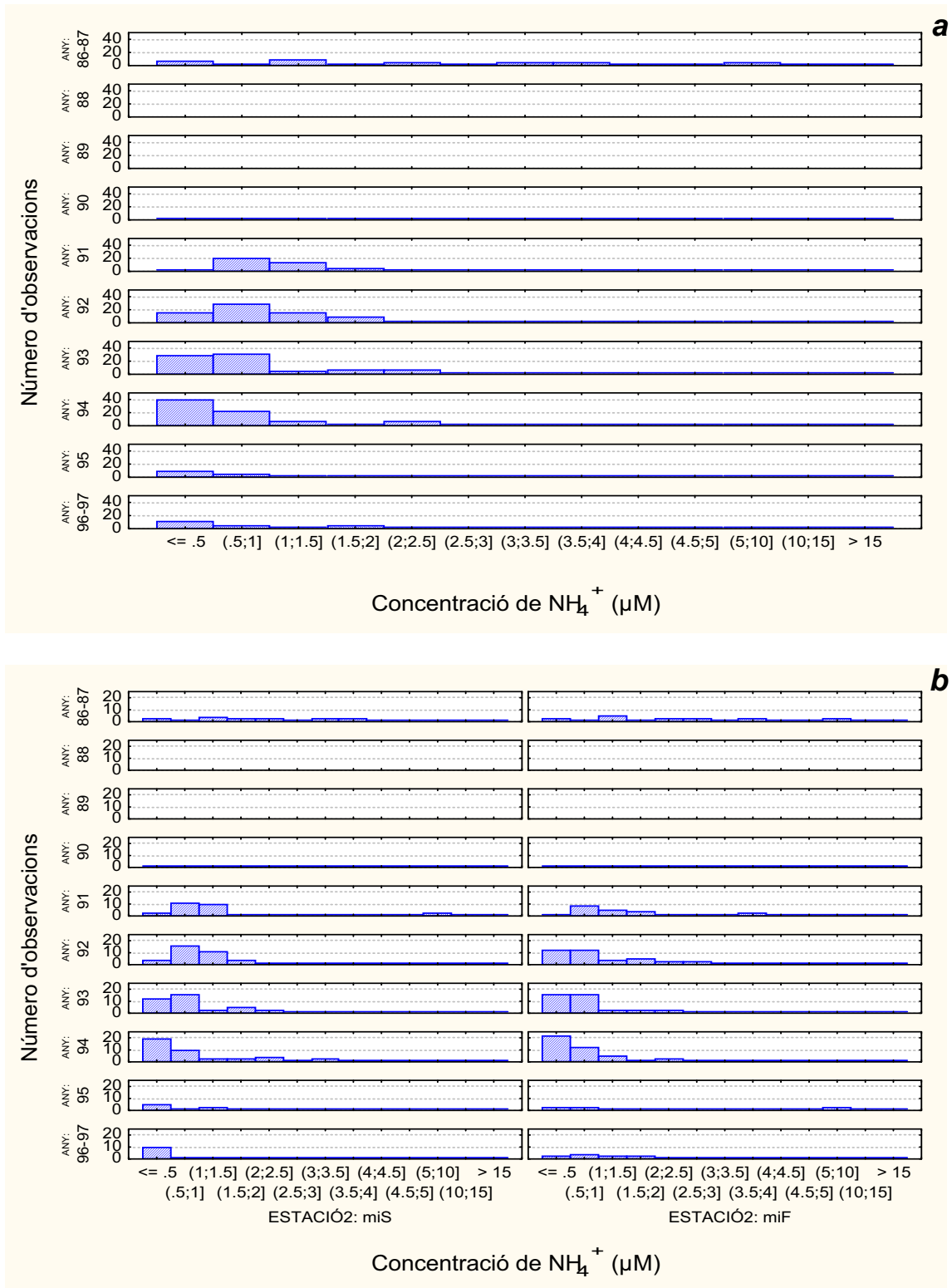


Figura 2.19 Histograma de freqüències de la concentració d'amoni (NH_4^+ , en μM) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls).

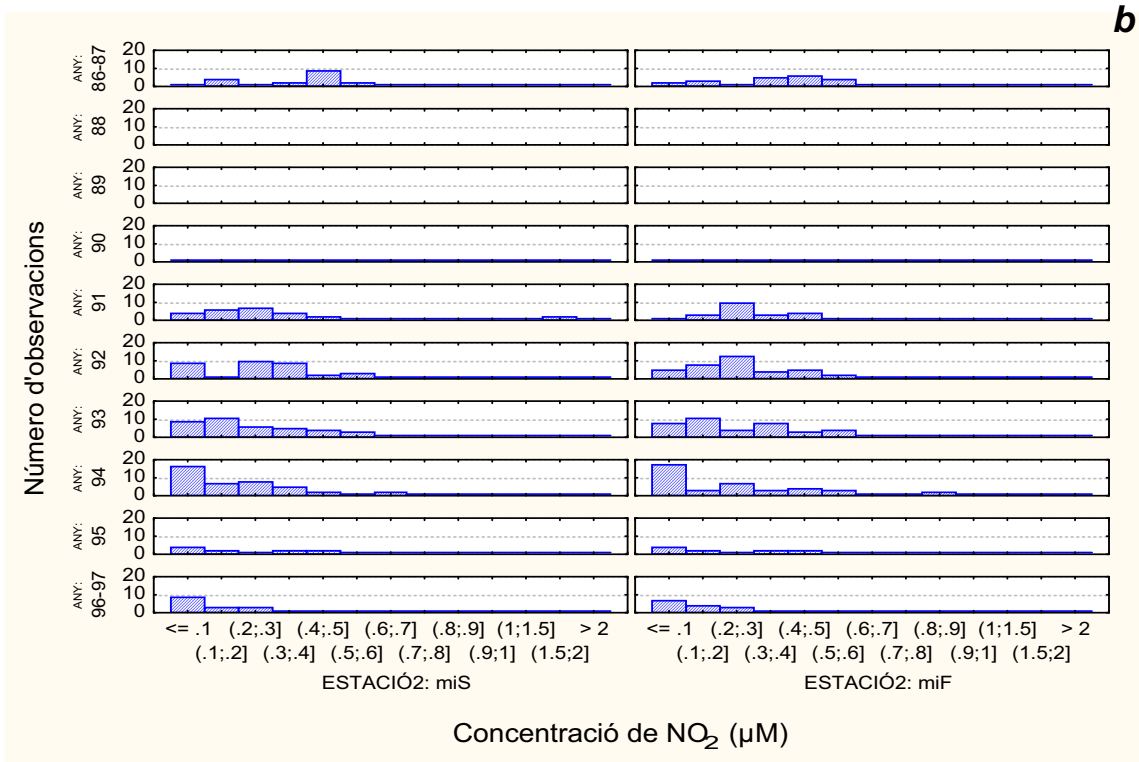
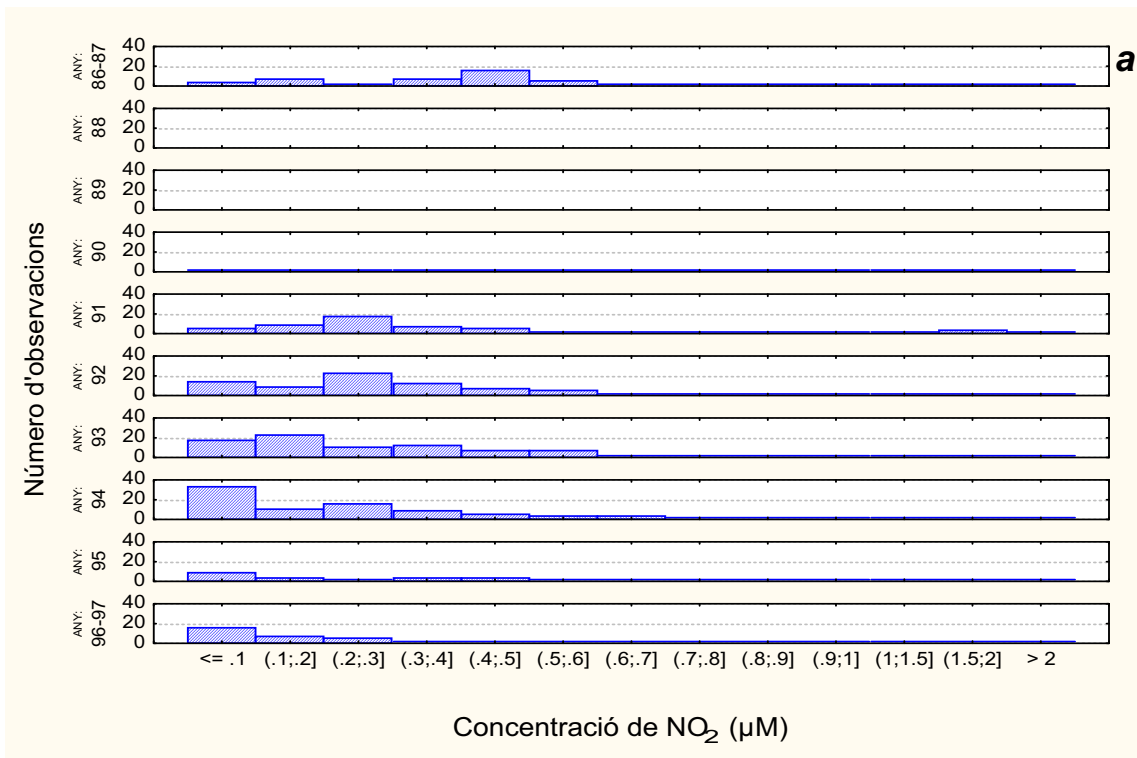


Figura 2.20 Histograma de freqüències de la concentració de nitrit (NO₂, en µM) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls).

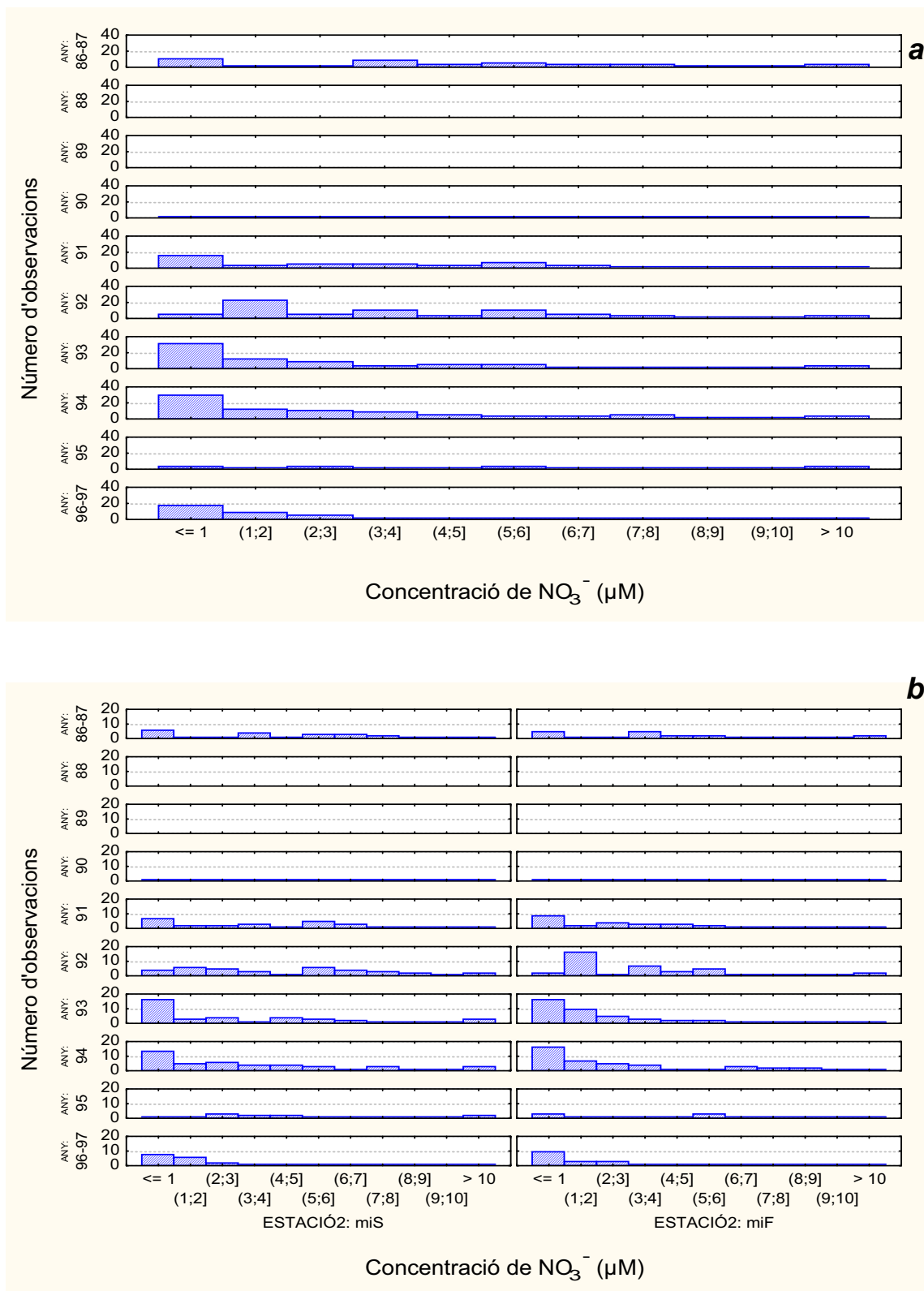


Figura 2.21 Histograma de freqüències de la concentració de nitrat (NO_3^- , en μM) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls).

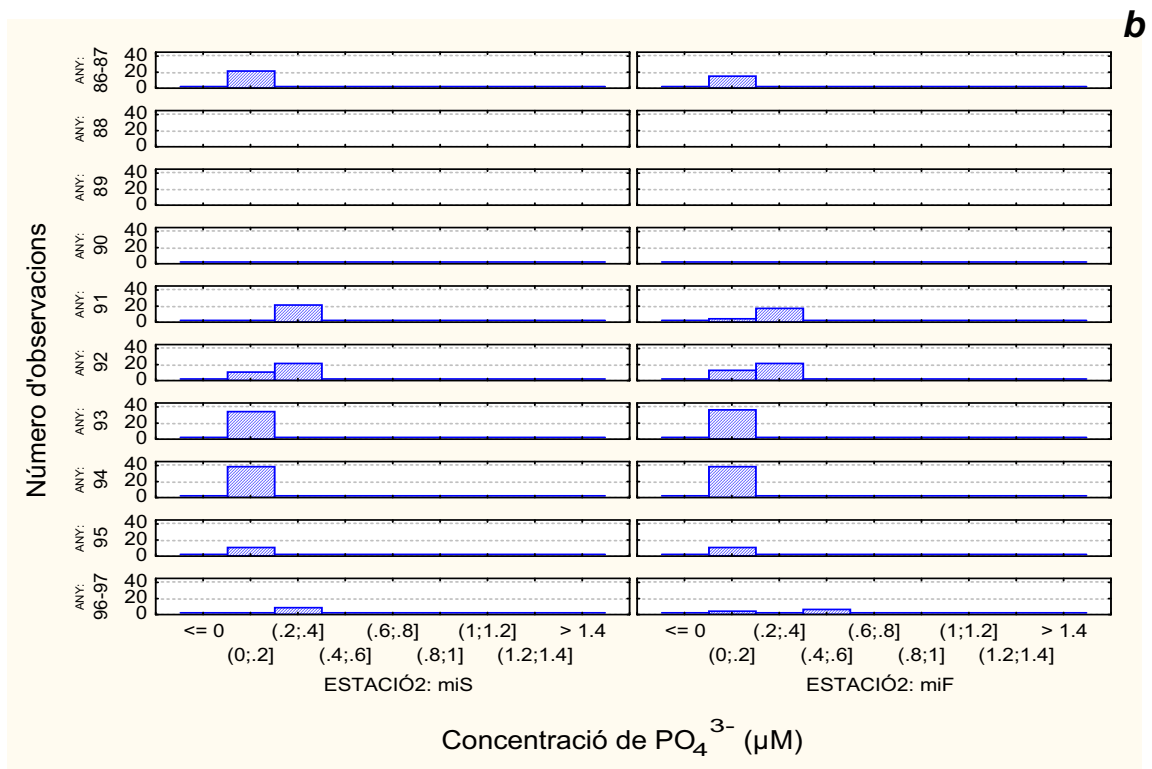
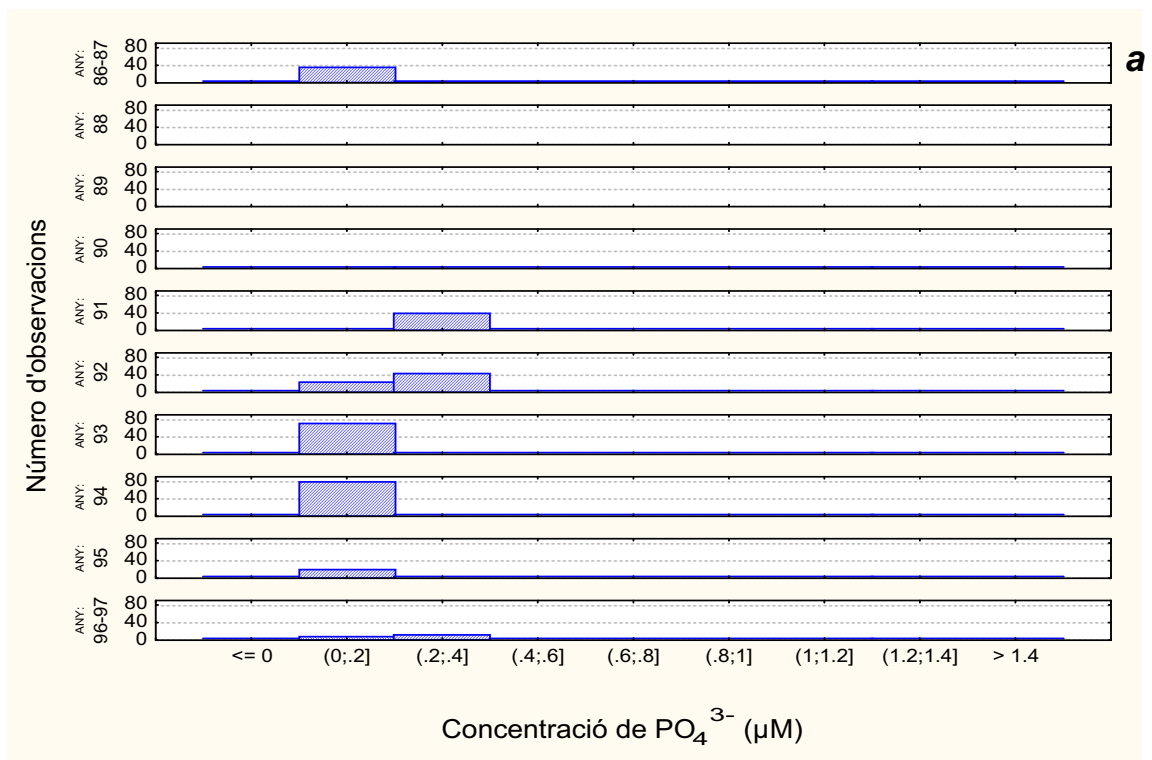


Figura 2.22 Histograma de freqüències de la concentració de fosfat (PO_4^{3-} , en μM) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (miS) i profunda (miF) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls).

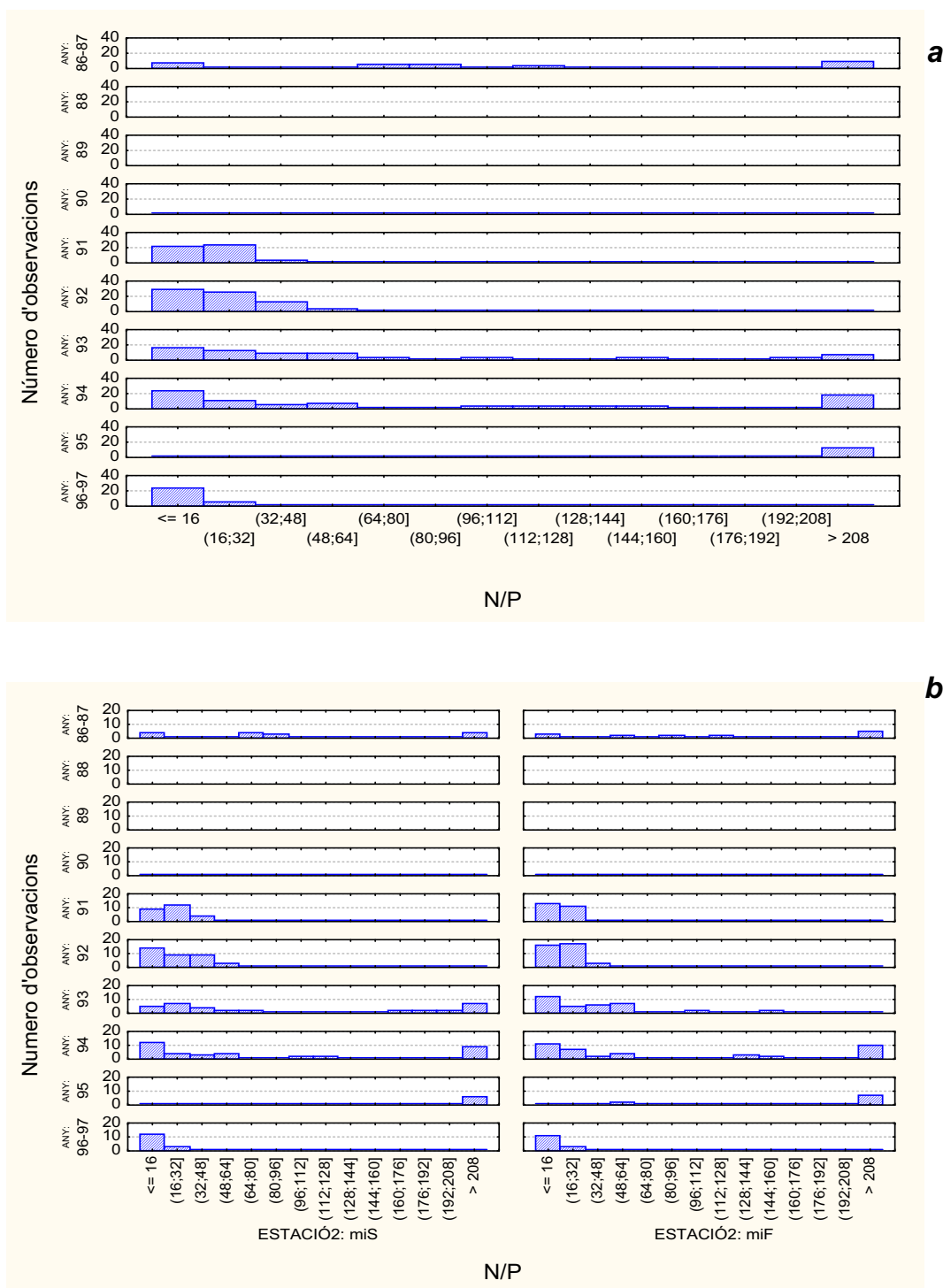


Figura 2.23 Histograma de freqüències del quocient N/P (concentració de nitrogen inorgànic dissolt total dividit per la concentració de fòsfat) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, i (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls).

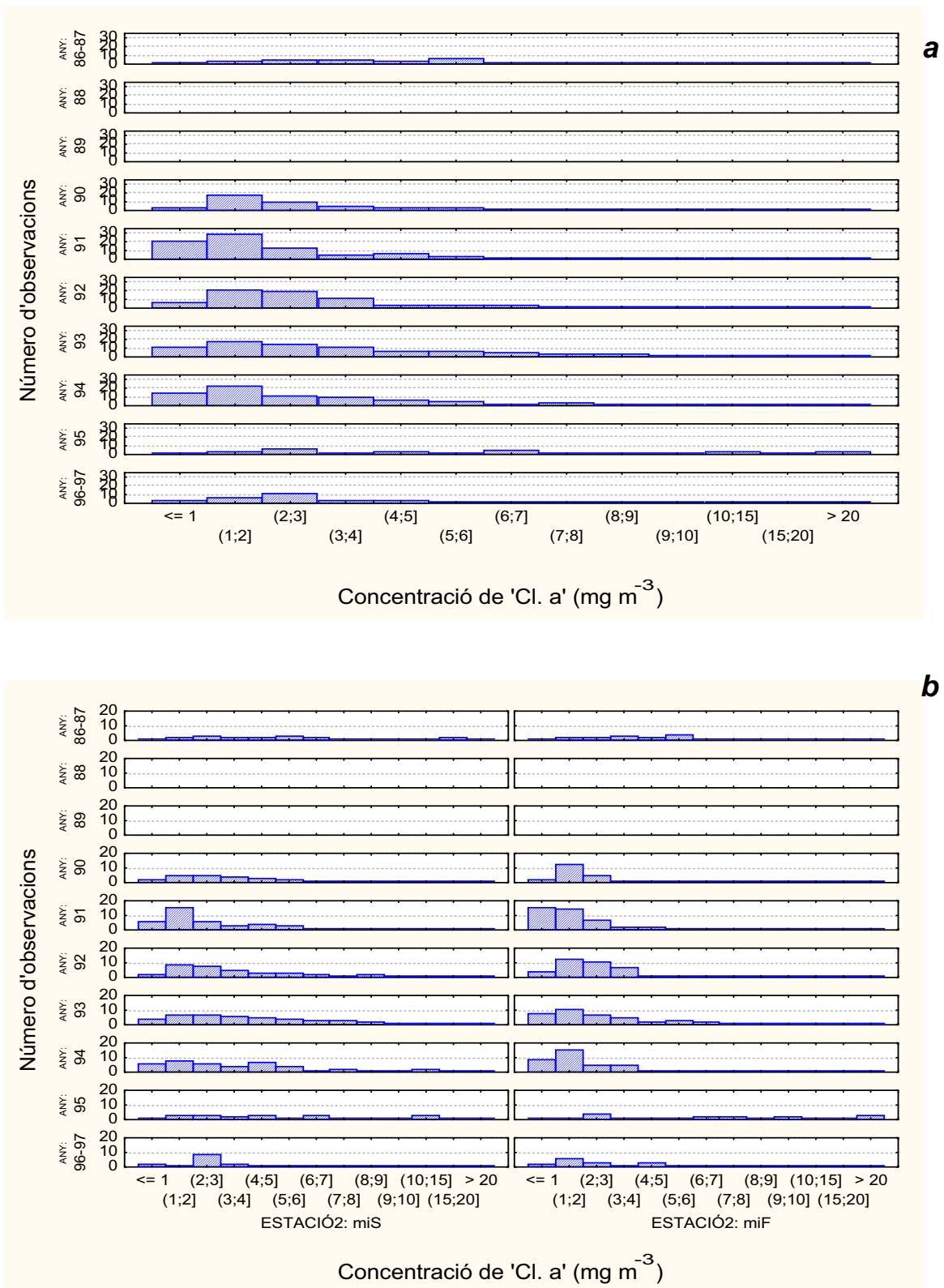


Figura 2.24 Histograma de freqüències de la concentració de clorofil·la a (Cl.a, en mg m^{-3}) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (miS) i profunda (miF) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls).

Per últim, els resultats de les correlacions entre variables no deixen gens clara quina relació funcional existeix entre elles. Cal destacar que la clorofil·la a mostra correlacions significatives estadísticament, malgrat molt baixes, únicament amb la concentració de fofat (negativa) i el quocient N/P (positiva), però no amb cap de les concentracions de nitrogen (Taula 2.11). Per altra banda, en analitzar només el conjunt de la sèrie de 1991 a 1995, i per als valors de tota la columna d'aigua, no sembla observar-se cap relació clara entre la concentració de clorofil·la a i la de nitrat per un costat (Figura 2.25a) ni amb la de fofat per l'altre (Figura 2.25b).

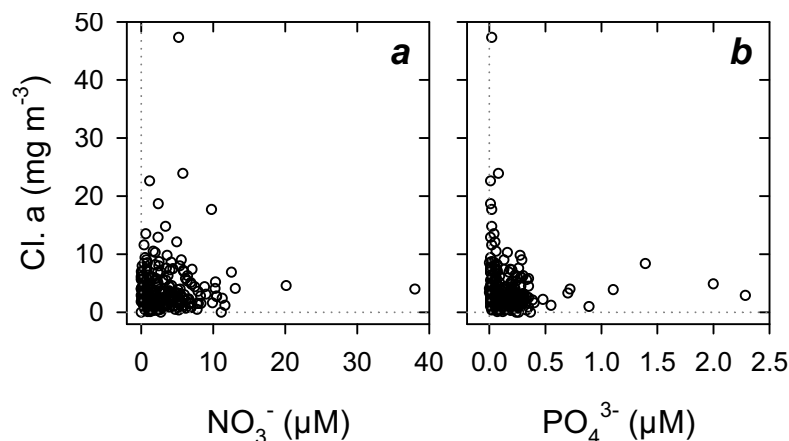


Figura 2.25 Relació entre el nitrat (NO_3^-) i fofat (PO_4^{3-}) respecte la clorofil·la a (Cl.a): (a) concentració de nitrat respecte Cl.a, (b) concentració de fofat respecte la de Cl.a. Dades setmanals del Centre Nacional d'Aqüicultura de l'IRTA entre 1990 i 1995 de la capa superficial i profunda de columna d'aigua de la Badia dels Alfacs.

Canals d'entrada

L'aigua dels canals porta, tant en el període de 1986-87 com en el de 1996-97, concentracions mitjanes de l'ordre de les desenes de μM d'amoni i nitrat, de l'ordre de les unitats de μM de nitrit, i entre les dècimes i les unitats de μM de fofat (Taula 2.13). La mitjana dels quocients N/P de les dades de 1986-87 va ser de 67.3, mentre que per 1996-97 va ser dos ordres de magnitud superior.

L'amoni, nitrat, i el nitrogen inorgànic dissolt són de l'ordre de 3 vegades superiors en 1996-97 que en 1986-87, els dos períodes de mostreig per als quals es disposen dades, mentre que el quocient N/P és 30 vegades superior (veure histogrames a Figura 2.26, i test de Kolmogorov-Smirnov de comparació no paramètrica de les mitjanes a Taula 2.13).

El canal que travessa la llacuna de l'Encanyissada abans d'entrar a la badia conté entre 4.4 i 8.2 vegades menys concentració de les espècies químiques de nitrogen respecte els canals que no en travessen cap (canals de la Sèquia de l'Ala, Desguàs General, Taula 2.14, Figura 1.4). Això equival a que l'aigua de desguàs dels arrossars que travessa una llacuna costanera redueixi significativament la seva càrrega de nitrogen en les tres formes inorgàniques dissoltes entre un 23 % i un 12 %, respectivament, abans d'arribar al mar, mentre que el fofat no mostra diferències significatives.

Taula 2.13 Test no paramètric de Kolmogorov-Smirnov de comparació de les mitjanes per als dos casos de “període de mostreig”, aplicat a les concentracions de nutrients (μM) i la taxa N/P analitzades en l'aigua dels canals de desguàs dels arrossars i de la principal llacuna costanera que vessa a la badia dels Alfacs (Sèquia de l'Ala, Desguàs General i Sortida de la llacuna de l'Encanyissada). NID: Nitrogen inorgànic dissolt. Resultats ombrejats són estadísticament significatius, amb nivell de significació: * quan $p < 0.05$, ** quan $p < 0.01$, * quan $p < 0.001$.**

Variable	Mitjana	Error est.	Mitjana	Error est.	N	N	nivell-p
	86-87		96-97		86-87	96-97	
Amoni	19.3	± 5	76.1	± 29	29	24	**
Nitrit	3.34	± 1	6.35	± 2	30	24	
Nitrat	29.8	± 7	85.3	± 16	30	24	*
NID	51.9	± 10	168	± 33	30	24	**
Fosfat	1.03	± 0	0.603	± 0	30	24	
N/P	67.3	± 13	2072	± 875	28	24	***

Les concentracions d'amoni i de fosfat en l'aigua de sortida de la depuradora són superiors a les que trobem als canals de desguàs dels arrossars, mentre que les de nitrat són clarament inferiors (Taula 2.15). La concentració de nitrogen inorgànic dissolt és superior en el canal de la depuradora que en els canals que desguassen directament dels arrossars (270 μM front els 175 μM de mitjana) i molt superiors que en l'aigua que abans ha passat per una llacuna costanera (de l'ordre de 30 μM). El fosfat presenta per la seva banda una concentració de $27 \pm 15 \mu\text{M}$, mentre que els canals dels arrossars porten prop d'una unitat de μM de PO_4^{3-} , molt menys en comparació. De totes formes, la càrrega real per la badia que suposen aquests aportes és baixa en general atès que el flux d'aigua a la depuradora és de $5 \cdot 10^3 \text{ l dia}^{-1}$ o excepcionalment de $10 \cdot 10^3 \text{ l d}^{-1}$ a l'estiu, segons dades dels responsables de la mateixa mentre que els altres canals vessen entre 1 i $3.5 \cdot 10^8 \text{ l d}^{-1}$, cinc ordres de magnitud per sobre.

Taula 2.14 Test no paramètric de Kolmogorov-Smirnov de comparació de les mitjanes per als dos casos de “canal que travessa llacuna vs. canal que no en travessa”, aplicat a les concentracions de nutrients (μM) i la taxa N/P analitzades en l'aigua dels canals de desguàs dels arrossars i de la principal llacuna costanera que vessa a la badia dels Alfacs (Sèquia de l'Ala, Desguàs General i Sortida de la llacuna de l'Encanyissada). Resultats ombrejats són estadísticament significatius, amb nivell de significació: * quan $p < 0.05$, ** quan $p < 0.01$, *** quan $p < 0.001$

Variable	Mitjana	Error est.	Mitjana	Error est.	N	N	nivell-p
	llacuna	llacuna	no llac.	no llac.	llacuna	no llac.	
Amoni	9.70	± 3	79.1	± 26	26	27	***
Nitrit	1.15	± 0	8.20	± 1	27	27	***
Nitrat	20.2	± 9	88.7	± 11	27	27	***
NID	30.7	± 11	176	± 27	27	27	***
Fosfat	0.634	± 0	1.05	± 0	27	27	
N/P	76.8	± 17	1981	± 844	27	25	***

Taula 2.15 Concentracions de nutrients del canal de sortida de la depuradora.

Variable	mitjanes	error est.	n
NH ₄ (μM)	252,4	84,96	7
NO ₂ (μM)	5,0	2,54	7
NO ₃ (μM)	13,9	3,06	7
PO ₄ (μM)	26,9	15,39	7

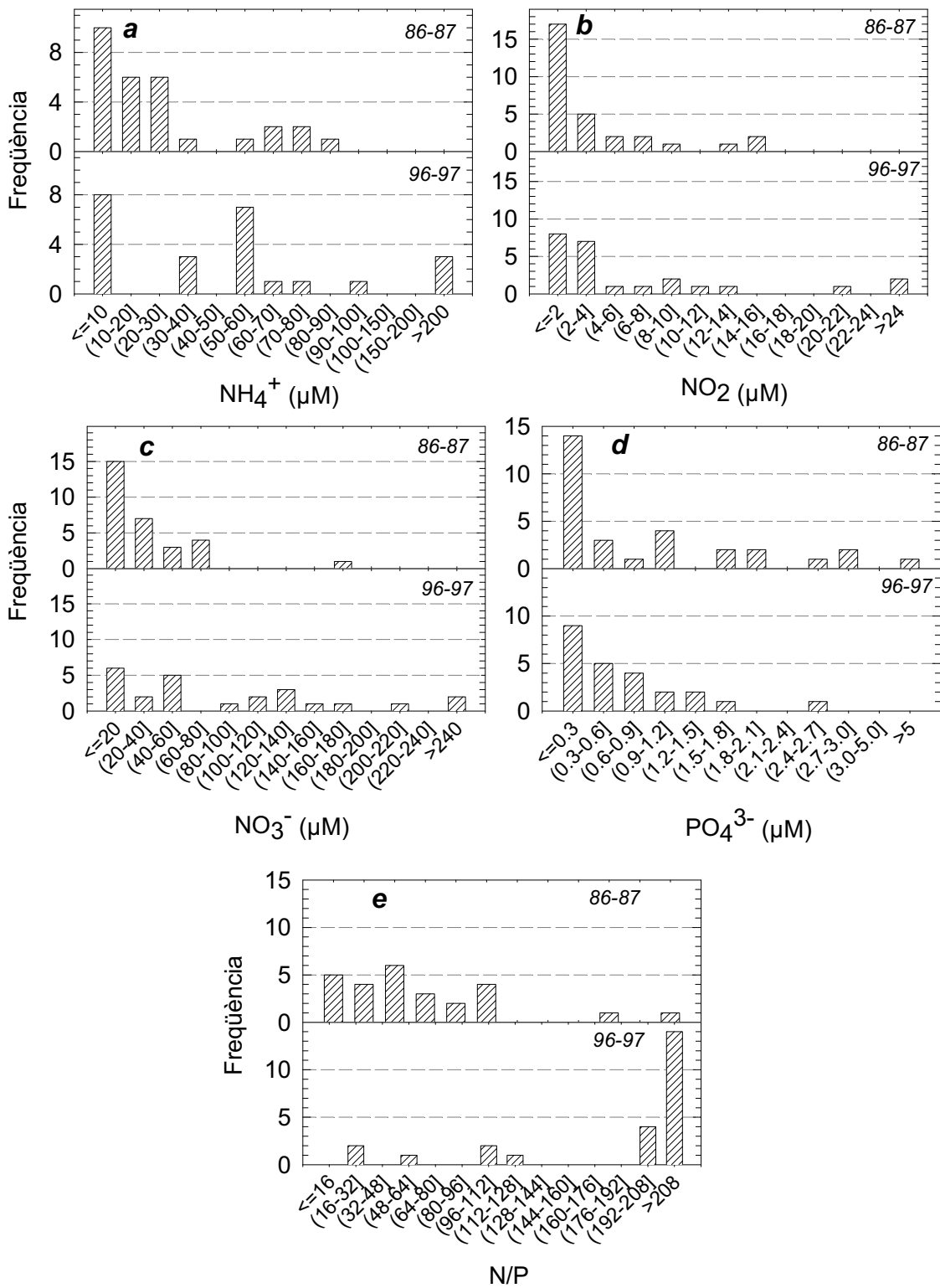


Figura 2.26 Distribució de freqüències de concentració de nutrients en l'aigua dels canals d'entrada a la badia dels Alfacs, en 1986-87 i 1996-97: (a) NH_4^+ , (b) NO_2 , (c) NO_3^- , (d) PO_4^{3-} , (e) N/P. Els canals considerats són el del Desguàs General, l'Encanyissada i la Sèquia del l'Ala, sense comptar amb el de la depuradora.

Discussió

Evolució de la salinitat

La salinitat mitjana de l'aigua d'un estuari indica la quantitat d'aigua dolça present al sistema. Canvis en aquesta quantitat poden provenir de canvis en els aportats nets d'aigua dolça o bé de canvis en el seu temps de residència. Per exemple, una disminució de la salinitat mitjana anual com la que sembla observar-se entre 1992 i 1998 (Figura 2.16) podria ser conseqüència d'un augment en els aportats dels canals, d'un increment de la pluviositat o de canvis en la circulació estuariana. No es disposa de dades per contrastar ni la primera hipòtesi ni la tercera, malgrat es desconeix l'existència de canvis notables en la gestió dels recs de l'hemidelta dret de l'Ebre. Pel que fa a la precipitació, val a dir que, malgrat la seva correlació amb la salinitat (Figura 2.27), les relacions entre ambdues variables no són simples (vegeu la dispersió a la Figura 2.16). Els canvis de precipitació d'un any per l'altre són de l'ordre de 400 a $-260 \text{ l m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, mentre que els de salinitat corresponen a canvis en la quantitat d'aigua dolça, entre 60 i $-20 \text{ l m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ pel conjunt de la badia. Això es deu a que la precipitació no es barreja amb la totalitat de l'aigua de la badia sinó tan sols amb una capa més o menys superficial (que precisament és la capa que té una menor temps de residència). Així doncs, en un estuari amb poca barreja vertical, un increment en la precipitació neta no afectaria massa a la salinitat mitjana, ja que gran part de l'aigua aniria ràpidament cap a mar obert. La salinitat mitjana depèn també de les forces de barreja, la principal de les quals és, en el nostre cas, el vent. Efectivament hem trobat una correlació positiva entre el vent i la salinitat mitjana ($r=0.29$, $p<0.05$). Aquesta correlació malgrat força significativa, és relativament feble degut al fet que el vent que influeix sobre la salinitat és només el que bufa després d'episodis de precipitació.

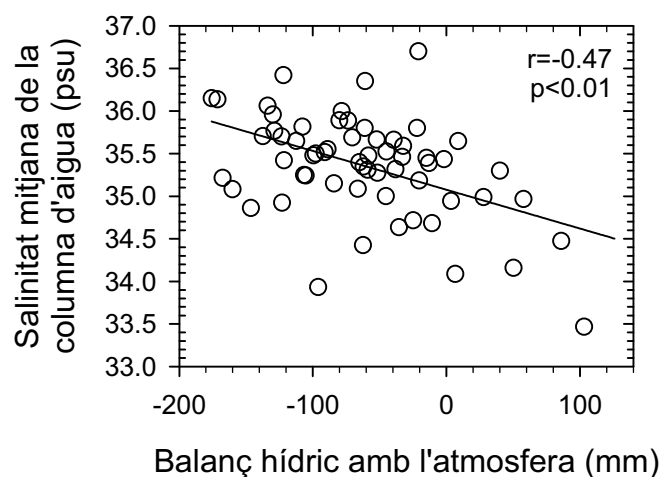


Figura 2.27 Relació entre la salinitat mitjana de la columna d'aigua i el balanç hídric amb l'atmosfera (precipitació menys ET_0). Dades mensuals dels anys 1992 a 1997 ($n=61$), mitjanes per la salinitat i acumulades per al balanç hídric.

Els canvis estacionals de la salinitat mitjana són força complexos. Recordem que durant el període en que els canals estan tancats, la badia rep, en teoria, menys aportos d'aigua dolça que durant el període de cultiu de l'arròs, en que els canals estan oberts (de l'ordre de $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en *canals oberts* i $3.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en *canals tancats*; Capítol 1, plana 23). Efectivament, és al mes de maig (Figura 2.10a) quan baixa la salinitat, però en canvi, no és al novembre quan aquesta torna a pujar sinó més tard, cap a febrer. Creiem que els valors de salinitat es mantenen baixos fins el febrer a causa de les pluges i les baixes temperatures, que donen un balanç hídric força positiu entre novembre i gener (Figura 2.10b).

Les variacions en la salinitat durant l'època de "canals tancats" semblen deure's fonamentalment a les precipitacions, a partir del que es pot observar en casos concrets (Figura 2.11a, b; Figura 2.12), com per exemple, aquells en que la salinitat mitjana es trobava per sota de 34.2 psu (entre el 19 de gener i el 13 de febrer de 1997, i entre el 20 de desembre de 1997 i el 19 de gener de 1998). De vegades, la salinitat mitjana respon amb un cert retard a la precipitació: les davallades en la salinitat mitjana coincideixen generalment en el temps amb precipitacions importants, però els períodes de major aigua dolça a la capa superficial dels anys estudiats es troben decalats unes 2-3 setmanes respecte els episodis de precipitació més intensa. Això fa pensar que la precipitació que està afectant realment la salinitat mitjana de la columna d'aigua podria ser, no tant la precipitació directa sobre la badia, sinó aquella que cau a la part propera de la conca i que necessita encara algunes setmanes per circular pel terreny (a nivell freàtic i/o superficial) fins arribar-hi. No s'observaria decalatge si la precipitació afectés a la salinitat de forma directa i immediata, com passa per exemple a l'estuari mediterrani Palmiet de Sud-àfrica (Largier 1986) o en el fiord novazelandès de Doubtful Sound (Gibbs *et al.* 2000). En l'època de novembre a abril, els canals de desguàs dels arrossars estan majoritàriament tancats, obrint-se només eventualment en cas de pluges intenses. Per tant és factible que el flux d'aigua dolça d'entrada a la badia (necessari per mantenir els valors baixos de salinitat) vingui ocasionalment dels canals però també en part del freàtic. D'aquesta forma, l'aigua freàtica torna a aparèixer a la badia dels Alfacs com a hipòtesi possible per a explicar-ne algunes característiques hidrològiques, després de que Camp i Delgado (1987) estimessin, com a primera aproximació, una alimentació d'aigua dolça a partir del freàtic de $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de mitjana per a l'època de *canals tancats*. La seva importància, doncs, seria considerable llavors al llarg de tota la línia de costa nord.

Comparació amb altres estuaris:

Els aportats d'aigua dolça

El funcionament de la Badia dels Alfacs segueix els patrons de circulació descrits a la literatura per a altres badies i estuaris mediterranis⁶, tot i que cal no oblidar les seves singularitats, les més importants de les quals semblen ser conseqüència de les pluges torrencials ocasionals a l'estiu i tardor i els aportats d'aigua dolça a través dels canals de desguàs dels arrossars.

Així, l'estratificació de la columna d'aigua i el relatiu "estancament" de la capa fonda que comporta un risc potencial d'aparició d'hipòxies a Alfacs, no és just després del període de major precipitació com en altres sistemes comparables (després de la tardor a Alfacs - Taula 1.5, Figura 2.10b -, després de l'hivern en altres sistemes micromareals descrits a la literatura, i en Alfacs, excepcionalment, el 1997), sinó que és posterior al període de pluges tempestuoses (Figura 2.11b), acompanyades de les velocitats mínimes de vent de tot l'any (Figura 2.10d, Figura 2.11c) i les temperatures més altes (Figura 2.2a).

En altres estuaris l'aigua caiguda durant l'hivern produeix l'estratificació més important de l'any, deixant el fons de la columna en una situació susceptible de desenvolupar fenòmens hipòxics en mesos següents, com en el cas de Peel-Harvey (Hearn i Robson 2001, Annex B, plana 326). Malgrat també es produeix un gradient salí important a l'hivern en Alfacs, arribant a valors de 6 psu de diferència entre les mitjanes de salinitat de les dues capes (gener de 1997, Figura 2.7, Figura 2.8a), els períodes hipòxics detectats no es produeixen sinó en els períodes en que la capa fonda té més influència de l'aigua de mar, i conté salinitats superiors a 36 o, fins i tot 37 psu, com al voltant del dia 11 de setembre de 1997 (Figura 2.12c).

Dades meteorològiques de l'àrea de la Badia de Tomales per al període de 1987 a 1996 mostren que, per a evaporacions similars a les d'Alfacs (ca. 4 mm d⁻¹ de màxima estival), les pluges màximes han estat inferiors a 10 mm d⁻¹ excepte singulars episodis hivernals en que van arribar excepcionalment a 40 mm d⁻¹, però cap any presenten precipitacions torrencials estivals (Smith i Hollibaugh 1997). Aquesta és una diferència meteorològica significativa de la zona d'Alfacs respecte a altres badies estuarianes de clima mediterrani. Es desconeix realment de quina manera poden afectar aquests episodis a l'aparició de les hipòxies de finals d'estiu, per que si bé per un costat actuen incrementant l'estratificació vertical i per tant reduint la renovació de l'aigua fonda, també s'espera que generin en certa mesura circulació estuariana bicapa per gradients de densitat (veure Capítol 1, plana 15). Aquesta qüestió, per tal de ser resposta adequadament, necessitaria de models hidrodinàmics específics que quantifiquessin cada procés esmentat amb millors mesures directes.

⁶ Per *estuaris mediterranis*, s'entenen aquells que "reben la major part del flux del riu a l'hivern, i l'intercanvi amb l'oceà és generalment prou feble com per mantenir deprimides les salinitats estuarianes per sota dels valors oceànics al llarg de la primavera, creant estratificació vertical" (Hearn i Robson 2001).

L'altre fenomen descrit en estuaris mediterranis és la inversió ocasional en la circulació a causa de períodes d'hipersalinitat (Largier *et al.* 1997). Malgrat el dèficit hídric per via atmosfèrica comentat que experimenta la badia dels Alfacs, aquests no s'hi donen gràcies al suplement hídric constant que rep la badia pels canals de desguàs dels arrossars, especialment durant els mesos de màxim dèficit hídric.

Clorofil·la a i nutrients

La concentració de clorofil·la a trobada a la badia dels Alfacs ha estat dins el rang mig de les concentracions recollides a la literatura a ambients estuaris (Taula 2.16, tot i que cal tenir en compte que la columna d'aigua de la badia dels Alfacs és inferior a la de molts dels estuaris citats). Al fiord Gullmar de l'Skagerrak suec, per exemple, s'han descrit concentracions ocasionals de fins a 800 mg Cla m⁻² a la capa eufòtica (Lindahl i Hernroth 1983), mentre que a la badia de Chesapeake, per la seva banda, s'hi han trobat freqüents acumulacions primaverals de fins a 1000 mg Cla m⁻², fruit de desequilibris estacionals entre els processos productius i de consum de fitoplàncton, que van seguits de fenòmens hipòxics a la capa fonda (<20% saturació d'oxigen dissolt) en entrar l'estiu (Malone *et al.* 1996). En llocs amb menor producció, com a la badia dels Alfacs, el risc d'aquests desequilibris estacionals és menor, així com de les hipòxies que solen portar associades.

No s'ha trobat cap relació consistent entre la Clorofil·la a de la badia dels Alfacs i els principals nutrients com el nitrat i el fosfat (Figura 2.25), que pogués fer pensar que aquests la limitessin. Si que se sap, a partir d'estudis previs (Pérez *et al.* 1991), que el creixement de la fanerògama marina *Cymodocea nodosa* és limitat pel fòsfor i no pas pel nitrogen, a diferència del que passa amb altres fanerògames marines d'arreu del món (Duarte 1995, Valiela *et al.* 1997). Se sap també que el sediment segresta fòsfor (Vidal 1991), que hi ha molta activitat de la fosfatassa alcalina en la columna d'aigua (M. Pérez, com. pers.) i que la relació N/P tant dels canals com de l'aigua de la badia sembla favorable al nitrogen (Figura 2.17, Figura 2.26). A partir d'aquí es podria pensar que el fitoplàncton també podria estar limitat majoritàriament pel fòsfor malgrat d'aquesta limitació no s'han trobat evidències a les dades (Figura 2.25b), i més aviat els indicis trobats indiquen que la Cla i el fosfat es troben correlacionats negativament (Taula 2.11). El nitrogen no va mostrar tampoc cap relació amb la Clorofil·la a (Taula 2.11, Figura 2.25a), si bé és cert que la concentració de nitrogen inorgànic mostra un increment fort en passar de 1991-93 a 1994-95, que va coincidir amb un increment notable de la velocitat d'augment de la clorofil·la a (Taula 2.10). Així, les concentracions dels nutrients no semblen ser els principals factors que regulen la concentració de clorofil·la a.

Taula 2.16 Concentracions de Clorofil·la a en diferents estuaris (modificat a partir de Underwood i Kromkamp 1999 i altres fonts).

Estuari	Estació o període	Cla mitjana (mg m ⁻³)	Cla màxima (mg m ⁻³)	Referències
EUROPA				
Oosterchelde	Exterior	3.0-7.4	14-43	Wetsteyn i Kromkamp 1994
	Central	3.0-6.6	16-36	
	Interior	3.6-9.1	10-50	
Westerschelde	Exterior	7.7-8.7	21-24	van Spaendonk <i>et al.</i> 1993 Kromkamp i Peene 1995
	Central	8.5-11.1	26-33	
	Interior	7.7-20.1	21-41	
Badia dels Alfacs	Punt central	1.6-11	12-23	Aquest estudi
EUA				
Badia de San Francisco	Badia Sud		10-70	Cole i Cloern 1984, Smith <i>et al.</i> 1987 Cloern 1996
	San Pablo		6-14	
	Badia Suisun	1.1-14.6	20-50	
Badia de Tomales	Exterior	7-8	6-12	Cole 1989 Smith i Hollibaugh 1997
	Central	5-11	15-83	
	Interior	2.8-4	3-9	
	Mitjana	0.5-22.4		
Badia de Chesapeake	Exterior	0.8-8.9 ^a	25 ^a	Harding 1994 Boynton <i>et al.</i> 1982, Harding 1994 Harding 1994 Fisher <i>et al.</i> 1992
	Central	4.0-10.5 ^a	23 ^a	
	Interior	2.1-16.1 ^a	23 ^a	
	Mitjana	2-55 ^b		
Badia de Tampa	Exterior	2-40		Wang <i>et al.</i> 1999
	Central	2-25		
	Interior	0.1-9		

Quan es van obtenir dades per diversos anys, es dona el rang de valors. ^aEls valors provenen de mitjanes ajustades al tractament per mínims quadrats, per corregir l'efecte de diferent mides mostrals (SAS Institute 1990).

^bValors discrets sense ser filtrats per cap tractament estadístic.

En altres badies com la badia de Tampa, a Florida (EUA, plana 325) la concentració de clorofil·la a ha mostrat estar altament correlacionada amb el nitrogen total en mitjanes anuals (Wang *et al.* 1999). A més, la reducció dels aportes de nitrogen per entrada en funcionament de la planta de depuració d'aigües residuals va anar seguida d'una reducció notable, tot i que decalada quatre anys, de les concentracions de clorofil·la a (Morrison *et al.* 1997). En la badia dels Alfacs també existeix reducció d'aports de nutrients per depuració d'aigües municipals: la depuradora de Sant Carles de la Ràpita elimina parcialment el nitrogen, encara que no el

fòsfor. Es desconeix l'efecte que pugui tenir aquesta concentració dels aportats al·lòctons de fòsfor d'origen domèstic, si bé s'ha detectat ocasionalment acumulacions puntuals extraordinàries de l'alga vermella *Alsidium corallinum* de l'ordre de 1300 gPS m⁻², properes al canal de desguàs de l'aigua de la depuradora, el que suposa més del doble de la biomassa màxima trobada en cap moment a la badia d'aquesta espècie. S'observa que la depuradora vessa a la badia relativament més fòsfor que nitrogen (aigua amb menor N/P) que els altres canals, però com el seu flux d'aigua és tan reduït (entre un 2 i un 6% de qualsevol dels altres tres canals principals), es creu que la seva influència sobre el conjunt de la badia dels Alfacs és mínima.

Canvis físico-químics en la dècada dels 90

La salinitat de l'aigua superficial de la badia dels Alfacs ha mostrat un augment significatiu mentre que la de l'aigua fonda ha mostrat una disminució, reduint-se així el gradient salí vertical al llarg de la dècada. Això pot estar relacionat, al menys parcialment, amb l'increment de la velocitat màxima diària del vent al llarg dels anys noranta (Taula 2.6), que permetria barrejar cada cop més la columna d'aigua. Si aquesta tendència es manté constant, el vent podria esdevenir un factor regulador, més important del que ja podria ser ara, en la prevenció de l'aparició o eventual finalització de les hipòxies i anòxies que hi podrien aparèixer en un futur (atès que ja hem vist que com més vent màxim diari, més petita l'estratificació de la columna d'aigua a causa d'una major barreja, sigui total o no - Figura 2.9 -, i menys hipòxies).

També s'ha observat un increment significatiu de les temperatures aèries mitjana i màxima diàries, i en major grau, de la temperatura aèria mínima diària que ha estat correlacionat significativament amb unes majors temperatures mínimes hivernals de l'aigua de fondària. L'escalfament detectat a la dècada dels noranta a la badia dels Alfacs podria anar en la mateixa línia que els escalfaments descrits en la temperatura dels oceans, que malgrat no segueixen una tendència monòtona al llarg de l'últim segle, si que detecten tendències significatives d'increments i decrements en funció de la dècada en qüestió, i descriuen un augment progressiu persistent des dels anys 70 ençà (Zhou *et al.* 1996). S'han descrit observacions similars en altres conques oceàniques i també en mars més petits com el Mar Adriàtic, Negre o Bàltic (Maddock i Swann 1977, Bindoff i Church 1992, Matthaeus i International Counc. for the Exploration of the Sea 1995, Curtis i Hastenrath 1999, Anderson *et al.* 1997, Dulcic *et al.* 1999, Degterev 2000). En el Mediterrani Occidental també s'ha observat un increment significatiu de la temperatura mitjana de l'aigua de la seva conca al llarg de 15-30 anys recents: entre 1973 i 1987 un increment de 0.4 C a 80 m de fondària (Pasqual, comunicació personal a P. Francour, segons cita en Francour *et al.* 1994), i entre 1959 i 1989 un increment de 0.12 C sota els 400m (Bethoux *et al.* 1990). Aquest escalfament podria implicar un major desplaçament del balanç d'oxigen dissolt cap a valors més negatius, atès que un mateix increment de temperatura augmenta més els processos de consum que els de producció (Marsh *et al.* 1986, Tilzer i Dubinsky 1987, Lefevre *et al.* 1994, Vergara *et al.* 1997).

Pel que fa als nutrients s'observa una major concentració de nitrogen en l'aigua dels canals de desguàs en 1996-97 que en 1986-87. Ara bé, aquest increment no sembla haver tingut conseqüències sobre la concentració de nitrogen inorgànic dissolt a la badia, que més aviat té tendència a disminuir, al menys pel que fa a les concentracions de nitrit i nitrat (Taula 2.11), pel que és possible que aquesta concentració estigui determinada per processos interns de la badia més que no pas per les descàrregues dels canals, o que els canvis en la qualitat de l'aigua dels canals, repercutits per al conjunt de la badia, quedin englobats en la variabilitat d'aquesta.

La pujada de les concentracions de nitrogen a l'aigua dels canals pot estar relacionada amb l'increment experimentat a les aigües del riu Ebre de nitrogen i fòsfor, passant entre els anys setanta i mitjans dels anys noranta de valors mitjans de concentració de nitrat de 48 a 145 μM i de fosfat de 2.08 a 9.38 μM (Ibáñez *et al.* 1995), amb una important disminució a partir de 1996 i fins a 2004 de la concentració de fosfat a causa d'un millor funcionament de les estacions depuradores d'aigües residuals urbanes (Ibáñez *et al.* 1999, [Ibáñez, 2007 #45]). Ara bé, hi ha una relativa incertesa sobre si aquests canvis en les concentracions de nutrients també van ocórrer a les badies del delta de l'Ebre.

Per tant, no podem parlar d'un augment recent de la disponibilitat de nutrients dissolts, al contrari del que s'ha documentat en altres àrees. Per exemple, la concentració de fosfat ha augmentat fins a 9 vegades en les aigües superficials del "Sound" de l'Skagerrak, la seva estreta zona de connexió en direcció cap al Mar Bàltic (plana 319), des de la dècada dels 40 fins a la dels 70. I molt a prop, en el Kattegat, s'ha detectat un increment menor però també estadísticament significatiu en el transcurs de 15 anys recents. Val a dir, però, que malgrat aquestes evidències constatades en la zona, no s'ha pogut demostrar tendències estadísticament significatives en el Fiord Gullmar de l'Skagerrak al llarg dels mateixos últims 15 anys en ajuntar dades de procedència diversa i discontinües en el temps (Lindahl i Hernroth 1983 i referències seves), amb el que es fa evident la necessitat d'una bona sèrie de dades per demostrar canvis interanuals en un àrea determinada.

Si en la badia dels Alfacs no s'han trobat canvis evidents de concentració de clorofil·la a al llarg de la dècada (Taula 2.11), en altres estuaris arreu del món sí que se n'han trobat, relacionats en la majoria dels casos amb canvis paral·lels en la disponibilitat dels nutrients a la columna d'aigua. En la Badia de Tomales es va detectar un increment significatiu de la clorofil·la a entre 1987 i 1996 de 0.5 $\text{mg Cl a m}^{-3} \text{ a}^{-1}$ ($n=48$, $p<0.05$, calculat a partir de dades de Smith i Hollibaugh 1997), que és obvi relacionar-lo amb l'increment estadísticament significatiu del coeficient d'extinció de la llum que s'ha trobat entre 1987 i 1996 (0.024 m^{-1} cada any, $n=49$, $p<0.01$, a partir de dades de la mateixa font). En el seu cas no han descrit tendències interanuals en les concentracions de nutrients, i una possible explicació és que el nitrogen, el nutrient limitant a la producció primària de la badia de Tomales, no entra majoritàriament amb

els aports d'aigua dolça, com en la majoria d'estuaris d'arreu del món, sinó que és molt més important la font de procedència oceànica (Fourqurean *et al.* 1997).

El cas de la Badia de Chesapeake és el més clarament significatiu de tots i es troba, a més, recolzat per una extraordinàriament densa i extensa sèrie de dades de camp. La concentració de clorofil·la a en la capa superficial barrejada s'ha anat incrementant des de principis dels anys 50 fins a mitjans dels anys 90 en totes les zones del canal principal de la badia, mostrant els majors increments a la zona més propera a la comunicació amb mar obert (Harding 1994 i Harding i Perry 1997), que és precisament la que es troba en connexió amb els seus tres subestuaris James, York i Rappahannock (plana 322). També s'han detectat increments significatius en el nitrogen inorgànic dissolt i silicats per totes les zones en general al llarg de les mateixes 4 dècades, i el fòsfor ha mostrat una tendència inversa, major en les zones més properes a mar obert (Harding 1994). És curiós remarcar, per altra banda, que a causa de la manca d'una bona sèrie de dades d'extinció de llum a la columna d'aigua no han pogut mostrar en aquest treball l'esperable tendència a incrementar de forma paral·lela la terbolesa de l'aigua, com a mínim a causa d'aquest increment descrit de la clorofil·la a.

I és que variables que tenen un alta variabilitat com la de la terbolesa de la columna d'aigua requereixen sèries de dades molt completes (que no existeixen a la badia dels Alfacs ni en moltes altres badies) per poder detectar els canvis que, per altra banda, serien esperables a la llum dels resultats d'altres variables o d'altres símptomes de l'ecosistema. Tan difícil sembla la documentació d'aquestes possibles tendències que no s'ha trobat referències explícites a canvis interanuals significatius de més de cinc anys de durada en la terbolesa de l'aigua, malgrat alguns resultats publicats permeten deduir-ne la seva existència. Aquest és el cas un cop més de la badia de Tomales, tal i com s'ha descrit anteriorment. En altres llocs com en un fiord tricapa estratificat de l'Skagerrak suec, per exemple, no s'han descrit canvis tan llargs, sinó tan sols una disminució en la transparència de l'aigua entre 1978 i 1981 inclosos (Rosenberg 1985), que va anar acompanyada d'increments extraordinaris de concentració de clorofil·la a en la capa eufòtica i episodis anòxics en la capa fonda. Però com ja s'ha comentat al Capítol 1, els fiords tricapa clàssics presenten períodes cíclics de renovació de la capa fonda de l'aigua que poden durar dècades, pel que calen sèries més llargues per poder parlar de tendències a llarg termini, més enllà de les de curta durada pròpies de la seva dinàmica habitual.

De l'oxigen dissolt no s'han trobat canvis significatius en la badia dels Alfacs a partir de les dades analitzades. Aquests canvis tampoc no es poden afirmar de forma categòrica en els ecosistemes aquàtics de forma general, llevat d'algunes descripcions parcials que es poden trobar a la literatura científica (veure annex "Augmenten les hipòxies?", plana 335).

Així, en molts estuaris tendeix a incrementar-se la disponibilitat de nutrients, i/o la concentració de clorofil·la a, i/o baixar la transparència de l'aigua. Pel contrari, a Alfacs no s'han pogut constatar aquests fets en l'horitzó parcial dels deu anys estudiats (o per falta de sèries de dades prou llargues i bones, o per que efectivament no s'hi donen). A demés, el que podria haver canviat no sembla anar en la direcció d'afavorir les hipòxies (més força del vent màxim, menys diferències de salinitat entre superfície i fons, menys nitrat a l'aigua de la badia). Per altra banda, com els valors de finals dels anys noranta (nutrients, clorofil·la a, etc.) disten bastant dels llocs marcadament eutròfics, la diagnosi és que els sistema de la badia dels Alfacs es troba en un estat força saludable, més enllà de les hipòxies ocasionals descrites. Tot i això, canvis imprevistos (per exemple, l'aparició de les macroalgues) poden canviar l'escenari.

Bibliografia

- Anderson, P. J., *et al.*, 1997. "Declines of forage species in the Gulf of Alaska, 1972-1995, as an indicator of regime shift", a *Forage Fishes in Marine Ecosystems.*, 14,
- Austin, R. W., 1974. "The remote sensing of spectral irradiance from below the ocean surface", a *Optical aspects of oceanography*, 317-344. Academic Press, London.
- Bethoux, J. P., *et al.*, 1990. Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature.*, 347 (6294): 660-662.
- Bindoff, N. L. i Church, J. A., 1992. Warming of the water column in the southwest Pacific Ocean. *Nature.*, 357 (6373): 59-62.
- Boynton, W. R., *et al.*, 1982. "A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production", a *Estuarine comparisons*, 69-90. Academic Press, New York.
- Camp, J. i Delgado, M., 1987. Hidrografia de las bahías del Delta del Ebro. *Inv. Pesq.*, 51 (3): 351-369.
- Cloern, J. E., 1996. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Rev. Geophys.*, 34 (2): 127-168.
- Cole, B. E., 1989. Temporal and spatial patterns of phytoplankton production in Tomales Bay, California, USA. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 28 (1): 103-115.
- Cole, B. E. i Cloern, J. E., 1984. Significance of biomass and light availability to phytoplankton productivity in San Francisco Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 17 (1): 15-24.
- Curtis, S. i Hastenrath, S., 1999. Long-Term Trends and Forcing Mechanisms of Circulation and Climate in the Equatorial Pacific. *Journal of Climate*, 12 (4): 1134-1144.
- Degterev, A. K., 2000. Assessment of temperature rise in an active layer of the Black Sea in 1985-1997.
- Duarte, C. M., 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia*, 41 87-112.

- Dulcic, J., *et al.*, 1999. Information on the Adriatic ichthyofauna - effect of water warming? *Acta Adriatica*, 40 (2): 33-43.
- Fisher, T. R., *et al.*, 1992. Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 82 (1): 51-63.
- Fourqurean, J. W., *et al.*, 1997. Spatial and temporal variation in C:N:P ratios, delta ¹⁵N and delta ¹³C of eelgrass *Zostera marina* as indicators of ecosystem processes, Tomales Bay, California, USA. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 157 147-157.
- Francour, P., *et al.*, 1994. Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators. *Mar. Pollut. Bull.*, 28 (9): 523-526.
- Gibbs, M. T., *et al.*, 2000. Maintenance of Near-Surface Stratification in Doubtful Sound, a New Zealand Fjord. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51 (6): 683-704.
- Gordon, J. I., 1969. Quoted by Austin (1974):
- Grasshoff, K., *et al.*, 1983. Methods of seawater analysis: 419.
- Harding, L. W., Jr., 1994. Long-term trends in the distribution of phytoplankton in Chesapeake Bay: Roles of light, nutrients and streamflow. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 104 (3): 267-291.
- Harding, L. W., Jr. i Perry, E. S., 1997. Long-term increase of phytoplankton biomass in Chesapeake Bay, 1950-1994. *Marine Ecology Progress Series*, 157 39-52.
- Hearn, C. J. i Robson, B. J., 2001. Inter-annual variability of bottom hypoxia in shallow mediterranean estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 52 (5): 643-657.
- Ibáñez, C., *et al.*, 1999. El delta del Ebro, un sistema amenazado. *Nueva Cultura del Agua*, 6: 109.
- Ibáñez, C., *et al.*, 1995. "The combined impacts of river regulation and eutrophication on the dynamics of the salt wedge and ecology of the lower Ebro River", a *Ecological Basis for River Management*, 105-114. John Wiley & Sons, Chichester (Regne Unit).
- Jørgensen, S. E., 1994. Fundamentals of ecological modelling. *Developments in Environmental Modelling*, 19: 628.
- Kirk, J. T. O., 1983. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems:

- Kromkamp, J. i Peene, J., 1995. Possibility of net phytoplankton primary production in the turbid Schelde Estuary (SW Netherlands). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 121 249-259.
- Largier, J. L., 1986. Structure and mixing in the Palmiet Estuary, South Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci. S. Afr. Tydskr. Seewet.*, 4 139-152.
- Largier, J. L., *et al.*, 1997. Seasonally hypersaline estuaries in Mediterranean-climate regions. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 45 (6): 789-797.
- Lefevre, D., *et al.*, 1994. The temperature response of gross and net community production and respiration in time-varying assemblages of temperate marine micro-plankton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 184 (2): 201-215.
- Lindahl, O. i Hernroth, L., 1983. Phyto-zooplankton community in coastal waters of western Sweden- an ecosystem off balance? *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 10 (2): 119-126.
- Maddock, L. i Swann, C. L., 1977. A statistical analysis of some trends in sea temperature and climate in the Plymouth area in the last 70 years. *J Mar Biol Assoc U K*, 57 (2): 317-338.
- Malone, T. C., *et al.*, 1996. Scales of nutrient-limited phytoplankton productivity in Chesapeake Bay. *Estuaries*, 19 (2B): 371-385.
- Margalef, R., 1974. *Ecología*: 951.
- Marsh, J. A. J., *et al.*, 1986. Effects of Temperature on Photosynthesis and Respiration in Eelgrass *Zostera-Marina*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 101 (3): 257-268.
- Matthaeus, W. i International Counc. for the Exploration of the Sea, C. H. C., 1995. "Natural variations and human impacts reflected in long-term changes in the Baltic deep water", a *Copenhagen Denmark*,
- Morrison, G., *et al.*, 1997. Estimated Nitrogen Fluxes and Nitrogen-Chlorophyll Relationships in Tampa Bay, 1985-1994. *Proceedings of the Tampa Bay Area Scientific Information Symposium*, 3:
- Officer, C. B., 1980. "Box model revisited", a *Estuarine and wetland processes: with emphasis on modelling*, 65-114. Plenum Press, New York.

- Officer, C. B., 1983. "Physics of estuarine circulation", a *Estuaries and enclosed seas*, 26, 15-41. Elsevier, Amsterdam.
- Olivos, A., 2000. Nutrientes inorgánicos disueltos en aguas litorales próximas al Mar Catalán. Ph.D., 134 pp., *Departament d'Ecologia*, Universitat de Barcelona.
- Pérez, M., *et al.*, 1991. Phosphorus limitation of *Cymodocea nodosa* growth. *Mar. Biol.*, 109 129-133.
- Rosenberg, R., 1985. Eutrophication - the future marine coastal nuisance? *Marine Pollution Bulletin*, 16 227-231.
- SAS Institute, I., 1990. SAS/STAT user's guide, Version 6, 2:
- Smith, S. V. i Hollibaugh, J. T., 1997. Annual cycle and interannual variability of ecosystem metabolism in a temperate climate embayment. *Ecological Monographs*, 67 (4): 509-533.
- Smith, S. V., *et al.*, 1987. Stoichiometry of C, N, P, and Si fluxes in a temperate-climate embayment. *J. Mar. Res.*, 45 (2): 427-460.
- StatSoft, I., 1999. STATISTICA for Windows (computer program manual):
- Thomann, R. V. i Mueller, J. A., 1987. "Eutrophication", a *Principles of surface water quality modelling and control*, 385-493. Harper & Row, New York.
- Tilzer, M. M. i Dubinsky, Z., 1987. Effects of Temperature and Day Length on the Mass Balance of Antarctic Phytoplankton. *Polar Biology*, 7 (1): 35-42.
- Underwood, G. J. C. i Kromkamp, J., 1999. "Primary production by Phytoplankton and Microphytobenthos in Estuaries", a *Estuaries*, 29, 306. Academic Press, London.
- Valiela, I., 1995. *Marine Ecological Processes*:
- Valiela, I., *et al.*, 1997. Macroalgal blooms in shallow estuaries: Controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnol. Oceanogr.*, 42 (5, part 2): 1105-1118.
- van Spaendonk, J. C. M., *et al.*, 1993. Primary production of phytoplankton in a turbid coastal plain estuary, the Westerschelde (The Netherlands). *Neth. J. Sea Res.*, 31 267-292.

- Vergara, J. J., *et al.*, 1997. Seasonal variation of photosynthetic performance and light attenuation in Ulva canopies from Palmones River estuary. *Journal of Phycology*, 33 (5): 773-779.
- Vidal, M., 1991. Estudios sobre la dinámica de nutrientes en sistemas estuáricos: flujos de sedimento-agua de nutrientes y oxígeno. Ph. D., 305 pp., *Departamento de Ecología*, Universidad de Barcelona.
- Wang, P. F., *et al.*, 1999. Water Quality and Eutrophication in Tampa Bay, Florida. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49 (1): 1-20.
- Wetsteyn, L. P. M. J. i Kromkamp, J. C., 1994. "Turbidity, nutrients and phytoplankton primary production in the Oosterschelde (The Netherlands) before, during and after a large-scale coastal engineering project (1980-1990)", a *The Oosterschelde Estuary the Netherlands: A Case Study of a Changing Ecosystem.*, 61-78.
- Yentsch, C. S. i Menzel, D. W., 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Research*, 10 221-231.
- Zhou, Y., *et al.*, 1996. Evolution features of global SST over the past hundred years. *J. Trop. Meteorol. Redai Qixiang*, 12 (1): 85-90.

