



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Ciències

Memòria del Treball de Fi de Grau

Utilització del fitoplàncton com indicador de l'estat ecològic de les aigües costaneres.

Agustí Esteva Riera

Grau de Biologia

Any acadèmic 2014-15

DNI de l'alumne: 41517145Y

Treball tutelat per Gabriel Moyà Niell
Departament de Ecologia

S'autoritza la Universitat a incloure el meu treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línea, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació

Paraules clau del treball:
Fitoplàncton, clorofil·la *a*, estat ecològic, aigües costaneres, primavera.

Resum

En aquest treball es fa un anàlisi de les comunitats de fitoplàncton d'una àrea costera marina del municipi de Capdepera (Mallorca), al llarg dels mesos de transició de la primavera a l'estiu. Els objectius, a més dels derivats de l'aprenentatge de tècniques de treball de camp i laboratori en Ecologia Marina, i l'obtenció de dades i el seu tractament, són interpretar els resultats obtinguts en el context de la Directiva Marc de l'Aigua que a l'Annex V proposa utilitzar el fitoplàncton com un dels indicadors per definir l'estat ecològic de les aigües costaneres. Per això en el treball s'han estudiat la composició i abundància del fitoplàncton, i de la seva fracció més petita, el picoplàncton, la diversitat específica i la biomassa com a concentració de clorofil·la *a*, i també un conjunt de variables fisicoquímiques que serveixen per caracteritzar l'entorn ambiental en el que es desenvolupen les comunitats fitoplanctòniques.

Se seleccionaren sis estacions de mostreig que reunien condicions geogràfiques i ecològiques diferents, i també amb distints graus d'impactes antròpics. Els resultats han confirmat l'heterogeneïtat que és preveïa en la hipòtesis de partida, presentant les estacions ubicades dins del Port de Cala Ratjada un estat ecològic dolent, amb una proliferació de fitoplàncton probablement lligada a l'entrada de matèria orgànica a l'aigua, mentre que la resta de llocs mostrejats tenen un estat ecològic bo o molt bo.

S'han identificat 68 tàxons de microalgues, fonamentalment de diatomees, dinoflagel·lades i flagel·lades de diferents mides, que suposen una aportació novedosa per l'àrea estudiada, entre les quals algunes espècies considerades com a potencialment tòxiques i/o amb capacitat de fer proliferacions, però, tot i la seva presència a la majoria de les estacions, sempre ho foren en molt baixes concentracions. S'ha pogut observar el màxim primaveral del fitoplàncton a l'estació més exterior i amb una menor incidència humana, i també s'ha constatat l'interès d'utilitzar la diversitat específica i els índex de similitud per interpretar els resultats del fitoplàncton tal i com prediu la teoria ecològica.

AGARAIMENTS

He de manifestar el meu agraïment a totes les persones de l'Àrea d'Ecologia, professors, becaris i tècnics, pel suport que m'han donat tant en la preparació dels mostres de camp, com en el treball de laboratori, la seva ajuda ha estat essencial per superar el munt de novetats que han suposat per a mi introduir-me en el camp de la recerca, tot i que fos en els primers nivells. De forma especial vull agrair l'ajuda de Nuria Moneris, que ha guiat les meves primeres passes en el complex món de la identificació del fitoplàncton.

Índex

1. Introducció	5
1.1 Context geogràfic	5
1.2 Oligotròfia i fitoplàncton	5
1.3 Estat ecològic de les aigües costaneres	6
2. Objectius del treball	6
3. Àrea d'estudi i metodologia utilitzada	7
3.1 Àrea d'estudi i periodicitat dels mostreigs	7
3.2 Tècniques d'estudi de camp	10
3.3 Tècniques analítiques de laboratori	10
4. Resultats	12
4.1 Paràmetres fisicoquímics.....	12
4.1.1 Temperatura	12
4.1.2 Salinitat.....	13
4.1.3 Oxigen dissolt i percentatge de saturació.....	14
4.1.4 Disc de Secchi: transparència.....	14
4.2 Fitoplàncton	15
4.2.1 Llistat taxonòmic del fitoplàncton	15
4.2.2 Abundància fitoplanctònica	15
4.2.3 Índex de diversitat.....	18
4.3 Picoplàncton.....	20
4.4 Clorofil·la a	21
5. Discussió	24
6. Conclusions	27
7. Bibliografia	27
Annexa..	30

1. Introducció

1.1 Context geogràfic

El Mar Mediterrani es considera format per dues conques: la occidental, on es troben les Illes Balears, separada de la oriental pel canal de Sicília on la profunditat màxima tants sols és de 460 m, la seva ubicació geogràfica, la climatologia i la connexió amb l'Atlàntic, son factors clau per entendre la hidrodinàmica i l'ecologia del Mediterrani Occidental, com que l'evaporació supera les entrades d'aigües dolces procedents de la pluja i els rius, la concentració salina del Mediterrani, compresa entre 37 i 39 g/L, és superior a la de qualsevol altre mar (Salat y Font, 1985). Per aquesta raó les aigües que entren al Mediterrani procedents de l'Atlàntic ho fan en superfície, ja que la salinitat d'aquest oceà és menor i per tant l'aigua és menys densa, mentre que l'aigua del Mediterrani més salada i carregada dels nutrients que s'acumulen en profunditat surt en forma de corrent profunda, el balanç negatiu de nutrients que això determina és el responsable de que el Mar Mediterrani sigui un mar oligotròfic (Margalef, 1985; Folch, 1989).

1.2 Oligotròfia i fitoplàncton

El fitoplàncton, la fracció menor del qual es coneix com picoplàncton, format per organismes unicel·lulars fotosintetitzadors, microalgues i cianobacteris, que viuen en suspensió a les capes superficials de la columna d'aigua on arriba la llum, junt amb els components del bucle microbià que és nodreixen de matèria orgànica, constitueixen, a partir de la producció primària, la base de totes les xarxes tròfiques dels ecosistemes aquàtics.

Els composts inorgànics, fonamentalment anhídrid carbònic, nitrat, amoni, fosfat, silicat i ferro, són els nutrients que utilitza el fitoplàncton per multiplicar-se; pel fet que el Mediterrani és un mar oligotròfic, la disponibilitat d'aquests nutrients és en general limitada, no obstant hi ha llocs on, degut a les condicions hidrogràfiques particulars, les concentracions augmenten el que possibilita valors més alts de la producció primària fitoplanctònica (Estrada, 1996; Marty *et al.*, 2002). A determinades àrees del litoral, sotmeses a la pressió antròpica, també el fitoplàncton pot experimentar creixements per sobre dels previsibles en un medi pobre en nutrients, arribant a formar les conegudes mareas roges, proliferacions de diferents espècies de fitoplàncton, algunes tòxiques pel marisc i inclús per l'home (Jansà, 2008).

Les comunitats fitoplanctòniques marines tenen com a grups de microalgues més abundants a les diatomees, les dinofícies o dinoflagel·lades, les coccolitoforals, i altres grups de petits flagel·lats, euglenofícies, criptofícies i prasinofícies, i cianobacteris, principalment com a components de la fracció del picoplàncton. Alguns dels components del fitoplàncton poder funcionar facultativament de forma heterotròfica, utilitzant la matèria orgànica com a

font de carboni i dels altres elements essencials, és el cas de les dinofícies i de les euglenofícies, això els hi dona rellevància com indicadors de les condicions ecològiques del medi en el que viuen.

1.3 Estat ecològic de les aigües costaneres

A aquest treball es presenten els resultats del seguiment, realitzat al llarg del període març a juny de 2015, de la comunitat fitoplanctònica de les aigües superficials del litoral de Capdepera, amb la intenció d'utilitzar les microalgues com indicadores de l'estat ecològic de l'àrea estudiada, tot plegat en el context de la Directiva Marc de l'Aigua, en endavant DMA, (Unió Europea, 2000). D'acord amb aquesta normativa es defineixen les aigües costaneres com les que ocupen l'espai entre la línia de costa i una milla nàutica mar endins, es tracta de la franja litoral que sofreix impactes antròpics de diferent naturalesa: emissaris d'aigües residuals i pluvials, abocaments directes d'embarcacions, activitats de bany i nàutiques en general durant l'estiu. La DMA a l'Annexa V estableix que un dels indicadors a emprar per definir l'estat ecològic és el fitoplàncton, tant la seva biomassa, expressada com a concentració de clorofil·la *a*, com la composició i l'abundància dels diferents tàxons que integren les comunitats (Devlin, *et al.*, 2007).

Des de la implantació de la DMA l'any 2000, s'han estudiat les aigües costaneres de les Balears amb l'objectiu d'establir-ne l'estat ecològic d'acord amb les recomanacions de la Unió Europea, part d'aquests estudis s'han centrat en les comunitats fitoplanctòniques, la seva composició, abundància i biomassa (Puigserver i Moyà, 2007; Puigserver i Moyà, 2010, Puigserver *et al.*, 2010), el present treball es situa en aquest àmbit de recerca i intenta ser una primera aportació al coneixement del fitoplàncton i el seu paper com indicador de l'estat ecològic de la zona costanera del municipi de Capdepera.

2. Objectius del treball

Dintre dels estudis del Grau de Biologia de la UIB el present estudi correspon a l'assignatura Treball Final de Grau (TFG) de 6 crèdits ECTS, que, d'acord amb el Pla d'Estudis té com a finalitat l'aplicació, integració i demostració de les competències adquirides en el Grau, amb la presentació d'un treball original i inèdit.

A partir d'aquestes premisses els objectius d'aquest treball titulat: *Utilització del fitoplàncton com indicador de l'estat ecològic de les aigües costaneres*, són els següents:

- 1) Conèixer i aprendre algunes de les metodologies pel treball de camp i de les tècniques per les anàlisis de laboratori, que es realitzen en els estudis sobre els ecosistemes aquàtics marins.

2) Aplicar-les a l'estudi d'una àrea litoral, centrant-nos en l'anàlisi de les comunitats fitoplànctòniques, la seva biomassa, composició taxonòmica i abundància dels diferents tàxons identificats.

3) Avaluar els resultats obtinguts i interpretar-los en el context de la Directiva Marc de l'Aigua, que en l'Annex V proposa el fitoplàncton com un dels indicadors a utilitzar per definir l'estat ecològic de les aigües costaneres.

4) En aquest context la hipòtesi de partida és que hi ha diferències entre els distints llocs estudiats, relacionats amb els canvis que de forma natural es produeixen en el medi al llarg de la primavera i amb els derivats d'impactes d'origen antròpic sobre l'àrea estudiada.

Per assolir aquests objectius, entre el mesos de març i juny de 2015 s'han realitzat campanyes de recollida de mostres a una àrea litoral del Nord Est de Mallorca, s'ha triat aquesta època per dues raons, la primera perquè, com hem deduït de la bibliografia consultada, la primavera és l'època en que, de forma natural, és produeixen els majors creixements del fitoplàncton, i segon per motius estrictament acadèmics, per la durada del temps que s'ha de dedicar al TFG.

3. Àrea d'estudi i metodologia utilitzada

3.1 Àrea d'estudi i periodicitat dels mostreigs

L'estudi ha estat realitzat en aigües del terme municipal de Capdepera, s'escolliren 6 estacions o llocs de mostreig, amb aparents diferències hidrodinàmiques i d'impactes antròpics, que, hipotèticament, conformen individualment unes característiques úniques. Tres dels llocs triats corresponen a la zona portuària del Port de Cala Ratjada, els quals es troben localitzats: un a la rampa d'accés d'embarcacions a remolc enfront de la Llonja (ER), un altre vora la plataforma on s'hi realitza la reparació de les embarcacions (EE), i l'últim vora el passeig marítim (EP) (Figura 1). Dues estacions és situen a sobre l'emissari de la depuradora de Capdepera, que aboca les aigües en la platja de Son Moll (EM1 i EM2) (Figura 2). Mentre que la darrera estació de mostreig, que hem anomenat Control, s'ubica en la petita badia delimitada per la Punta de Capdepera i el Cap des Freu (Figura 3). L'estació de control és, teòricament, la que rep menys impactes d'origen antròpic i per tant la que ens ha de servir de referència.

A la Taula 1 es mostren les fondàries de cada una de les estacions mostrejades. Per assegurar la repetibilitat dels llocs de mostreig en les diferent campanyes o sortides per recollir les mostres, aquests foren senyalitzats mitjançant coordenades GPS.

Estació o lloc de mostreig		Fondària metres
Port de Cala Ratjada	ER	1,20
	EE	2,20
	EP	1,30
Emissari	EM1	5,50
	EM2	13
Badia Punta Capdepera - Cap de Freu	Control	47

Taula 1.- Fondàries màximes de cada una de les estacions mostrejades.



Figura 1.- Representació de les situacions exactes de les tres estacions de mostreig dins el Port de Cala Ratjada, respectivament: ER, EE i EP.



Figura 2.- Representació de les situacions exactes de les dues estacions de mostreig sobre l'emissari d'aigües procedents de la depuradora de Capdepera abocades a la platja de Son Moll, respectivament: EM1 i EM2.



Figura 3.- Representació de la situació exacte de l'estació de mostreig situada entre la Punta de Capdepera i el Cap des Freu: Control.

El treball de camp s'ha fet en sis campanyes de mostreig compreses entre els mesos de març i juny, i separades per períodes de 2 o 3 setmanes, a la Taula 2 es presenten de forma detallada els dies de recollida de les mostres i els llocs mostrejats en cada campanya.

Campanya	Dia de mostreig	Estació de mostreig
Primera quinzena de Març 1 ^a	12 de Març	EM1, EM2 i Control
	15 de Març	ER, EE i EP
Segona quinzena de Març 2 ^a	28 de Març	ER, EE i EP
	29 de Març	EM1, EM2 i Control
Segona quinzena d'Abril 3 ^a	19 d'Abril	ER, EE, EP, EM1, EM2 i Control
Primera quinzena de Maig 4 ^a	1 de Maig	ER, EE, EP, EM1, EM2 i Control

Segona quinzena de Maig 5 ^a	23 de Maig	ER, EE i EP
	24 de Maig	EM1, EM2 i Control
Primera quinzena de Juny 6 ^a	5 de Juny	EM1, EM2 i Control
	7 de Juny	ER, EE i EP

Taula 2.- S'especifica el dia en que s'ha mostrejat cada estació. Per raons del temps emprat per mostrejar cada lloc i de vegades per l'estat de la mar, hi ha campanyes en les que no es pogueren mostrejar totes les estacions el mateix dia.

3.2 Tècniques d'estudi de camp

Una vegada situats en el lloc de mostreig de cada una de les zones, al qual s'arribava amb una embarcació semirígida, es procedia a realitzar les següents activitats:

1.- D'una fondària de 15 centímetres per sota de la superfície es recollia, mitjançant una botella Van Dorn que es feia baixar oberta i es tancava per la percussió d'un pes o missatger, una mostra de 2 litres d'aigua que és guardava en un bidó de parets opaques fins a la separació de diferents fraccions, pels estudis qualitius i quantitius del fitoplàncton i del picoplàncton, i per determinar la concentració de clorofil·la *a*.

2.- Amb un analitzador multiparamètric (HI 9828) es feia un perfil vertical, amb determinacions cada 0,5 metres, dels paràmetres: temperatura, oxigen dissolt i percentatge de saturació en aquest gas. Per determinar la salinitat el perfil es realitzava amb un conductímetre de la marca WTW (Conductivity 1971).

3.- Amb un disc de Secchi de 30 cm de diàmetre, tirat des de en costat d'ombra de l'embarcació, és determinava la transparència de l'aigua en metres.

3.3 Tècniques analítiques de laboratori

Una vegada les mostres han estat recollides han de ser sotmeses a l'anàlisi el més aviat possible, ja que amb el temps les mostres amb els organismes vius s'alteren lo qual distorsionaria els resultats.

Per a la obtenció de l'abundància i diversitat de fitoplàncton les mostres eren fixades amb 20 gotes de lugol acètic, així es preserva la mostra fins el moment de l'estudi. Aquest es va realitzar amb la tècnica d'Utermöhl (IOC, 2010), que consisteix en sedimentar, amb columnes específiques, un volum conegut de mostra, 50 ml per a les mostres ER, EE i EP i 100 ml per a les mostres EM1, EM2 i Control, durant un període de temps de 24h per les mostres de 50 ml i de 48h per les de 100 ml.

Els sedimentats amb el fitoplàncton s'analitzaren amb un microscopi invertit ZEISS Axiovert equipat amb una càmera fotogràfica connectada a un ordinador per analitzar les imatges. Per a la determinació dels diferents tàxons presents a la mostra es feren servir

manual específics per cada grup del fitoplàncton i de forma general la clau fotogràfica *Guida al Riconoscimento del Plancton dei Mari Italiani* (Avanzini, et al., 2006). La fracció del microplàncton compresa entre 20µm i 400µm, i que denominan formes grans, es va comptar a 100x augments, observant tota la superfície de la cubeta. Mentre que el nanoplàncton o formes petites, entre 2µm i 20µm, es va comptar a 400 augments, seguint les recomanacions de la IOC (2010) el nombre de formes comptades sempre fou superior a 150. D'aquesta manera s'ha obtingut una precisió en el recomptes del 86% per cada una de les mostres, posteriorment mitjançant les corresponents fórmules es varen transformar les dades obtingudes amb el microscopi en cèl·lules de cada tàxon i de cada mostra per unitat de volum, en aquest cas expressat en mil·lilitres.

Per a la obtenció de la concentració de la clorofil·la i per l'estudi del picoplàncton es va realitzar un filtratge d'una fracció de la mostra per concentrar els organismes. Per a la determinació de la clorofil·la *a* es van fer servir filtres de fibra de vidre Whatman GF/C (25 mm de ø) i pel picoplàncton s'utilitzaren filtres de policarbonat de 25 mm de ø i 0,2 µm de porus (Isopore, GTBP02500 de la casa Millipore). Únicament les mostres de picoplàncton varen ser fixades prèviament amb glutaraldehid 10% (deixant reposar la mostra en fred uns 15 minuts). Per a l'obtenció de clorofil·la es varen filtrar 0,5 litres de mostra i es feu per duplicat, mentre que per a l'obtenció de picoplàncton es filtraren 50 ml de mostra.

L'extracció de la clorofil·la dels filtres es feu amb 10 ml d'acetona 90% durant 24 hores, passades les quals es centrifugaven durant 10 minuts a 2000rpm per precipitar els possibles materials en suspensió. La lectura de la fluorescència dels extractes es va fer amb un espectrofluorímetre Varian, per a la transformació de les emissions en concentracions de clorofil·la *a* en µg/L s'utilitzaren les fórmules de Jeffrey & Humphrey (1975).

Per l'estudi del picoplàncton els filtres es varen col·locar sobre un porta objectes i es tenyiren amb Citifluor, abans d'observar la mostra al microscopi d'epifluorescència Leica DM 2500, equipat amb una llampara halògena de 12V/100W, es va segellar el cobreobjectes amb esmalt d'ungles. El filtre utilitzat per a la excitació i emissió de l'autofluorescència del picoplàncton va ser el I3 (510nm). El recompte es va dur a terme amb la captació d'imatges digitals de 10 punts diferents i aleatoris de cada un dels filtres a 1000 augments, utilitzant oli d'immersió, els recomptes es varen transformar en cèl·lules per mil·lilitre de mostra.

4. Resultats

4.1 Paràmetres fisicoquímics

Com ja s'ha indicat a la metodologia al llarg dels prop de quatre mesos que ha durat l'estudi s'ha dut a terme l'anàlisi d'un conjunt de paràmetres fisicoquímics de l'aigua, els resultats d'alguns dels quals, el més significatiu, es presenten a continuació.

4.1.1 Temperatura

L'augment de les hores de sol al llarg de la primavera marca un canvi important a l'ecosistema marí, l'efecte més perceptible és l'increment de la temperatura de l'aigua superficial del mar per acció de les radiacions d'ona llarga, les primeres en ser absorbides.

A la Taula 3 es presenten les diferències de temperatura entre la primera i la darrera campanya a tots els llocs mostrejats, al mostreig de principis de juny per problemes amb el sensor de medició de la temperatura aquesta només es va determinar al punt de Control, com es pot comprovar l'escalfament és manifest a totes les estacions, també s'aprecia com aquest és una mica major a les estacions de dintre del Port, a més, excepte en el Control, a la resta de llocs les temperatures entre superfície i fons són semblants, això és degut a l'escassa fondària que possibilita l'escalfament uniforme de tota la columna d'aigua. A la Taula II de l'Annexa es poden consultar les temperatures de superfície i fondària de tots els mostreigs.

Campanya	1 ^a		5 ^a		6 ^a	
Estació	s	f	s	f	s	F
ER	14,13	14,24	19,79	19,72	--	--
EE	14,08	14,01	19,69	19,54	--	--
EP	14,09	14,06	19,52	19,52	--	--
EM1	14,21	13,91	18,91	18,77	--	--
EM2	14,14	13,82	18,92	18,21	--	--
Control	13,98	13,79	18,61	18,21	22,23	21,02

Taula 3.- Valors de la temperatura de l'aigua en °C, a superfície (s) i fons (f), per a cada una de les estacions a la primera i a la darrera campanya de mostreig.

D'altra banda a la Figura 4 es representa l'evolució mitjançant isolínies de la temperatura al llarg de la columna d'aigua de l'estació Control, la més profunda i per tant on es pot observar el procés d'estratificació i formació de la termoclina, que té lloc a mesura que transcorre la primavera i ens apropam a l'estiu. Les diferències de densitat degudes al gradient tèrmic, fan que la massa d'aigua que queda per davall de la termoclina estigui aïllada de les capes superficials i sigui una trampa pels nutrients.

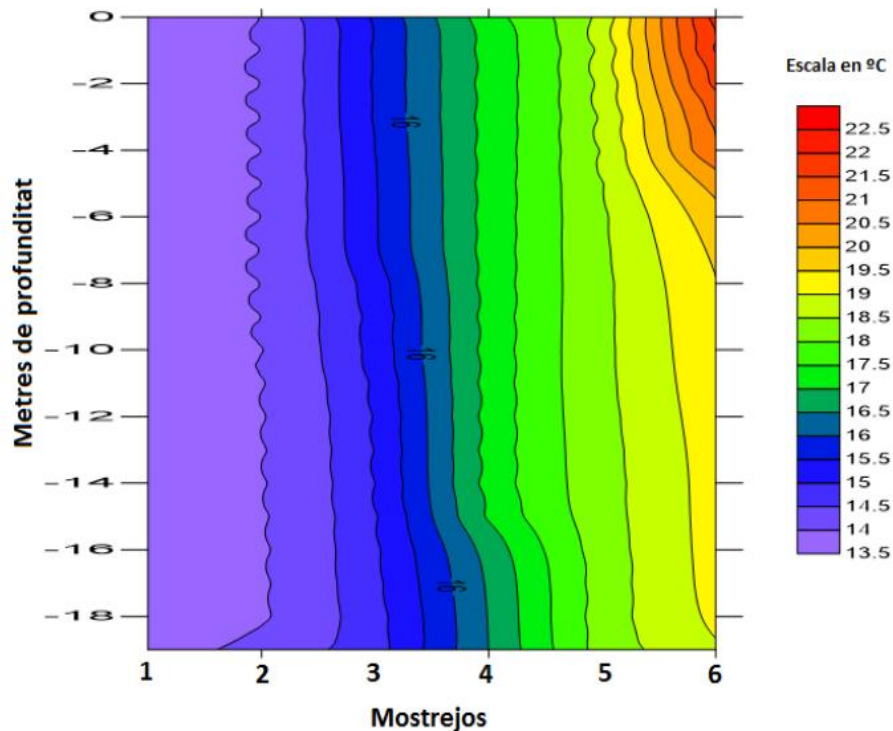


Figura 4.- Canvis espai temporals de la temperatura de l'aigua en graus centígrads a l'estació Control.

Es pot observar com la massa d'aigua es va escalfant homogèniament fins que a partir de la segona quinzena de Maig, a la cinquena campanya, i la primera de Juny, durant la sisena campanya, les capes superficials entre la superfície i els sis metres presenten un destacat increment enfront les capes inferiors, començant així el procés que durà a la formació de la termoclina.

4.1.2 Salinitat

Les concentracions de sals mesurades varien entre 36,10 g/L valor determinat a l'estació ER de l'interior del Port i 37,10 g/L determinat al Control, que entren dintre dels límits previsibles per a la zona estudiada (Margalef, 1985). Tal i com s'observa a la Taula III de l'Annexa s'ha de destacar que en totes les campanyes la salinitat ha estat més alta en les estacions de fora el Port que les que es troben a dins. Aquest gradient entre les estacions de dins del Port i les de fora es pot explicar per entrades d'aigües dolces provinents de la xarxa pluvial, així com d'activitats relacionades amb les indústries nàutica i pesquera.

4.1.3 Oxigen dissolt i percentatge de saturació

Les concentracions de l'oxigen dissolt a l'aigua són un bon indicador del metabolisme de l'ecosistema, perquè indiquen el resultat del balanç entre fotosíntesi i respiració, però sense oblidar que també estan influïdes per la temperatura, la salinitat i la pressió.

A les Taules IV i V de l'Annexa es presenten les concentracions de l'oxigen dissolt a l'aigua i dels percentatges de saturació en aquest gas, la majoria dels valors registrats entren dintre del que seria previsible per aquests tipus d'ecosistemes i per l'època de l'any, els mínims determinats a les estacions del emissari i a la de Control en la segona campanya probablement són més atribuïbles al mal funcionament del sensor que fa les lectures que no a un dèficit real d'aquest gas en aquests llocs.

En general a les estacions de dins el Port les concentracions d'oxigen solen ser superiors a les de les estacions de fora, en particular destaquen els màxims determinats en la quarta campanya que donen valors de sobresaturació a l'aigua, mentre que al següent mostreig tant les concentracions d'oxigen com els percentatges de saturació han experimentat una notable disminució. Probablement el màxims estan relacionats amb un increment de l'activitat fotosintètica en aquests moments.

4.1.4 Disc de Secchi: transparència

La penetració de la llum al llarg de la columna d'aigua és un factor clau per la fotosíntesi del fitoplàncton, els distints grups de microalgues s'han especialitzat en captar les diferents radiacions de l'espectre visible, fet que en part explica la seva diversitat. Si l'escalfament de l'aigua fa incrementar l'activitat metabòlica del fitoplàncton, la major disponibilitat d'hores de llum fa que també augmenti el temps de fotosíntesi i per tant la producció primària.

Com es pot veure en la Taula VI de l'Annexa a la majoria de les estacions i per pràcticament tots els dies de mostreig el disc de Secchi no es deixa de veure, és a dir que arriba fins el fons, això en part és conseqüència de l'escassa profunditat que tenen els diferents llocs mostrejats i també de que les concentracions de partícules, entre elles el fitoplàncton, i de les substàncies en dissolució no arriben a les concentracions suficients com per eliminar la llum que arriba al disc de Secchi.

Les úniques excepcions són a l'estació EM2 amb un valor mínim al segon mostreig, i a l'estació Control, en la que si que s'observen significatives variacions en la transparència de l'aigua al llarg de l'estudi, aquesta té valors màxims als dos darrers mostreigs mentre que la transparència és mínima, igual que a la EM2, a la segona campanya.

Més endavant és discutirà la possible incidència de la biomassa del fitoplàncton sobre aquests valors mínims de la transparència, però el que ja és pot avançar, a la vista dels resultats, és que la llum no és un factor limitant pel creixement del fitoplàncton.

4.2 Fitoplàncton

4.2.1 Llistat taxonòmic del fitoplàncton

Al llarg de les 6 campanyes de recollida de mostres he identificat 68 tàxons diferents de microalgues i un de cianobacteris (Taula I de l'Annexa), 30 de les microalgues pertanyen a la classe Dinophyceae o dinoflagel·lades, 31 pertanyen a la classe Bacillariophyceae o diatomees, una a la classe Chlorophyceae o algues verdes, i dues a la classe Dictyochophyceae (silicoflagel·lats). Sense arribar a un nivell superior al de classe també he identificat com flagel·lats, amb u dos flagels, organismes que pertanyen als grups de les criptofícies (Cryptophyceae), de les euglenofícies (Euglenophyceae) de les prasinofícies (Prasynophyceae), i d'altres de difícil assignació, aquests organismes els hem diferenciats en dues categories segons la seva mida: nanoflagel·lats ($> 5\mu\text{m}$) i ultraflagel·lats ($< 5\mu\text{m}$).

La taxonomia dels organismes que formen les comunitats fitoplanctòniques és complexa tant per la seva diversitat com per la mida que tenen les microalgues, per això la tasca de classificació ha estat complicada, i, tot i l'ajuda que he rebut del tutor i d'investigadors experts en el tema, som conscient de que pot haver-hi algun tàxon que no està classificat correctament sobretot quan he intentat arribar al nivell d'espècie.

Al llistat de la Taula I de l'Annexa s'indiquen les set espècies identificades que són potencialment tòxiques o productores de proliferacions d'acord amb el llistat de la Intergovernamental Oceanographic Commission (IOC), sis pertanyen al grup de les dinofícies i una al de la diatomees pennades, aquests organismes són interessants perquè formen part dels indicadors que s'utilitzen a la Directiva Marc de l'Aigua per definir l'estat ecològic de les aigües costaneres, i també són organismes sobre els quals hi ha una estreta vigilància a les zones de cultius de marisc pels problemes que poden produir als consumidors d'aquests productes contaminats amb les toxines de les microalgues.

4.2.2 Abundància fitoplanctònica

Tota la informació sobre aquest apartat queda recollida a la Figura 5, en la que es veu de forma gràfica el comportament dels tres grans grups d'organismes que integren les comunitats fitoplanctòniques: diatomees, dinoflagel·lades i flagel·lats, i a la Taula 4 on es presenta una síntesi de les principals característiques de cada campanya.

Les concentracions totals de fitoplàncton han oscil·lat entre les 4.731 cèl·lules per mil·lilitre de l'estació ER durant la primera campanya i les 117 cèl·lules per mil·lilitre de l'estació EM1 durant la tercera campanya.

Hi ha dos aspectes a destacar, el primer és que el màxim número de cèl·lules fou degut a la proliferació d'una euglenofícia, probablement del gènere *Eutreptiella* (Tell y Conforti, 1986), observada a les estacions ER i EE del Port, amb 4.321 i 3.243 cèl·lules per mil·lilitre respectivament, el segon és que en quasi bé en tots els mostreigs predominaren els tàxons del grup dels ultraflagel·lats, hi ha tres excepcions, les dues a les que me referit al principi i el predomini de criptofícies a l'estació ER a la sisena campanya.

La proliferació de les euglenofícies a dues de les estacions del Port, molt possiblement està relacionada en l'aportació de matèria orgànica que afavoreix el creixement d'aquestes algues, és tracta d'un grup més abundant a les aigües dolces però que té uns pocs representants al medi marí, citats principalment a zones portuàries, aquests organismes tenen la doble possibilitat de viure de forma autotròfica i heterotròfica, quan en el medi hi ha disponibilitat de carboni orgànic, per això a la bibliografia el grup de les euglenofícies s'associa a la contaminació de naturalesa orgànica (Folch, 1989).

Les majors concentracions de fitoplàncton s'han detectat en 4 de les 6 campanyes a estacions situades dins del Port de Cala Ratjada (ER i EE). De la mateixa manera que en 5 de les 6 campanyes els mínims de fitoplàncton s'han detectat a l'exterior de la zona portuària (Control, EM1 i EM2). Si ens atenem només a les concentracions de cèl·lules grans el patró es torna a repetir, observant majors concentracions dins del Port (ER, EE i EP) en 5 de les 6 campanyes i mínims en l'estació Control situada fora del Port.

Pel que respecta a les abundàncies dels tàxons que componen el fitoplàncton, les 3 primeres campanyes estan dominades per diatomees. Les formes pennades dominen sobre les cèntriques, entre les quals petites diatomees de mida compresa entre 4 i 10 µm, cosa que dificulta la seva identificació a 400x. Les més abundants identificades són dels gèneres *Nitzschia* i *Navicula*. Les concentracions varien per a *Nitzschia* entre 2 i 45 cèl·lules/mL, mentre que per a *Navicula* arriben a 17 cèl·lules/mL, cal esmentar que *Navicula* presenta formes petites i formes grans, en canvi *Nitzschia* només formes petites.

A partir de la quarta campanya la tendència del predomini de les diatomees decau i comença el domini de les dinoflagel·lades, entre les quals destaquen les formes petites, entre 5 i 20 µm, de difícil identificació, amb abundàncies que arribaren a les 100 cèl·lules/ml de l'estació EE a la quarta campanya. Amb concentracions inferiors destaquen *Heterocapsa*, *Karenia* i *Scippsiella*, amb màxims de 39 cèl·lules/mL, 12 cèl·lules/mL i 18,17 cèl·lules/mL respectivament. Tots els màxims a l'estació EE del Port durant la quarta campanya.

En termes generals, a les estacions ER, EE i EP de dins el Port, en quasi totes les campanyes, han predominat les diatomees en front de les dinoflagel·lades, exceptuant algun cas aïllat. Aquest fet és significatiu ja que les diatomees tenen tendència a proliferar en condicions particulars de turbulència i aigües riques en nutrients, són els organismes del fitoplàncton que inicien la successió anual, mentre que en etapes posteriors quan l'aigua és més càlida, més tranquil·la i amb menys nutrients són les dinoflagel·lades les que passen a dominar, afavorides per tenir capacitat de moviment propi i estar millor adaptades a condicions de pobresa de nutrients inorgànics (Reynolds, 2006).

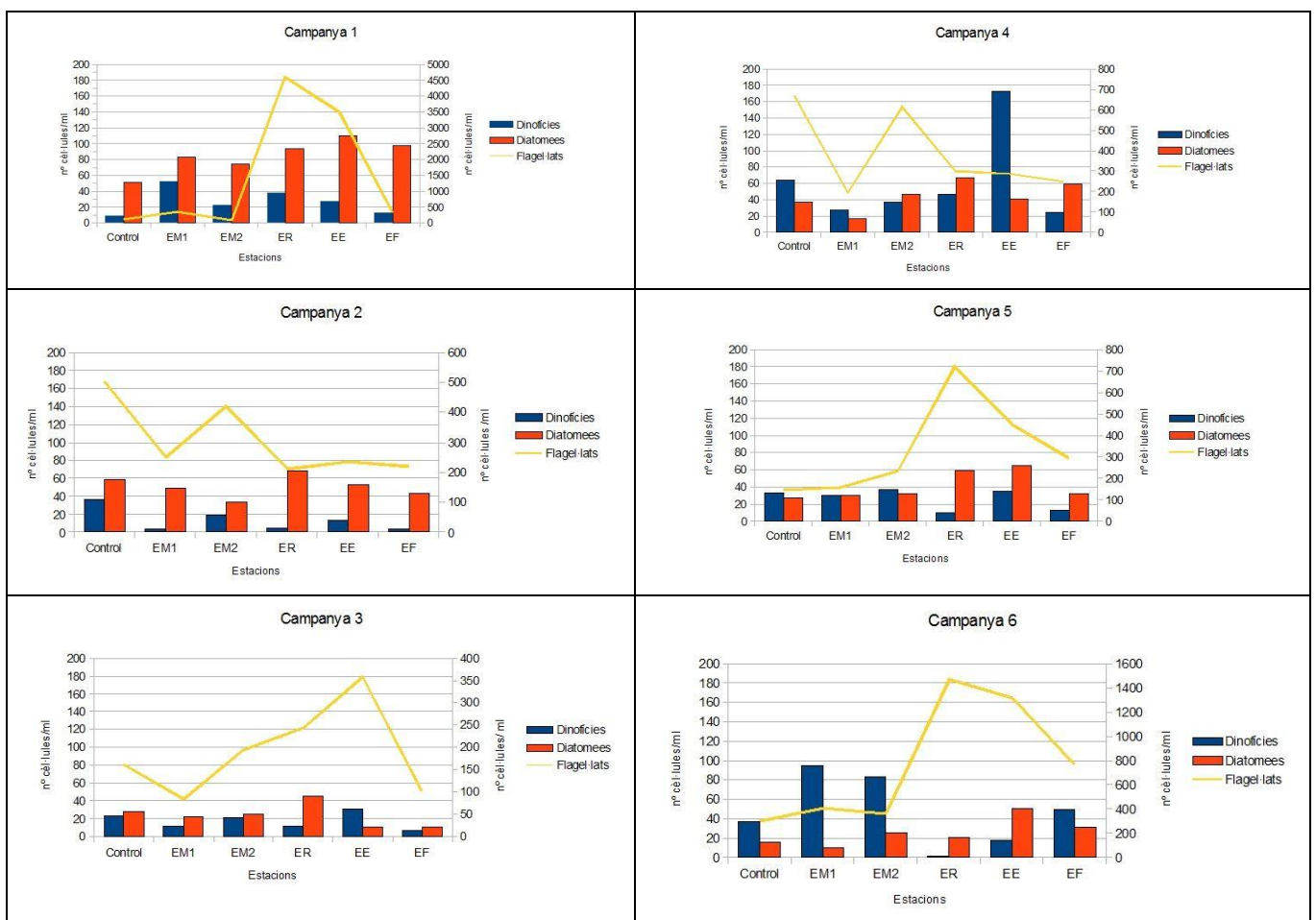


Figura 5.- Variació quantitativa del grups de fitoplàncton: dinofícies, diatomees i flagel·lats, en cèl·lules/mL, en cada estació de mostreig per a cada una de les campanyes. La columna de la dreta del eix d'ordenades indica les quantitats de dinofícies i diatomees, mentre que la columna de la dreta indica les quantitats de flagel·lats

A la Taula 4 es presenten, de forma sintètica, els aspectes més significatius de l'abundància i composició del fitoplàncton a les diferents campanyes de mostreig, tot plegat per complementar la informació exposada en els paràgrafs anteriors.

Campanya	Màxim de cèl·lules/mL	Estació	Grup/s dominant/s	Característiques destacables del fitoplàncton
1 ^a	4.731	ER	Euglenòfits	Proliferaió d'una espècie del grup de les euglenofícies a dues de les estacions de dintre del Port.
2 ^a	596	Control	Ultraflagel·lats	Fora baixada de la concentració dels flagel·lats a les estacions del Port. Màxim de cèl·lules a l'estació Control.
3 ^a	401	EE	Ultraflagel·lats	Disminució de les concentracions de tots el grups de fitoplàncton.
4 ^a	770	Control	Ultraflagel·lats	Domini de les dinofícies sobre les diatomees en tres de les estacions. Apareixen per primera cop dinofícies potencialment tòxiques (<i>Heterocapsa</i> i <i>Karenia</i>). Màxim de dinofícies de tot l'estudi, 173 cèl·lules/mL, dintre del Port, possible presència d'algun factor de creixement per aquests organismes.
5 ^a	787	ER	Ultraflagel·lats	Les dinofícies continuen dominant en les estacions de fora del Port. Es fan presents tàxons característics de la primavera <i>Chaetoceros</i> (<i>Gyrodinium</i> , <i>Prorocentrum</i>), destaca <i>Hemiaulus sinensis</i> espècie típica dels màxims primaverals.
6 ^a	1.485	ER	Criptofícies	El domini de les dinofícies és fa més palès a les estacions amb menor incidència antròpica. Només a les estacions ER i EE del Port, les continua el domini de les diatomees.

Taula 4.- Aspectes quantitius i qualitius més significatius del fitoplàncton a les diferents campanyes de mostreig

4.2.3 Índex de diversitat

Per conèixer la diversitat específica d'una comunitat d'organismes un dels índex més utilitzats en ecologia és el de Shannon-Weaver, tret de la teoria de la informació i expressat en bits o bits per cèl·lula, aquest índex ens indica no només el número d'espècies presents a una determinada mostra sinó també l'abundància de cada una d'elles, a més és un índex que podem relacionar amb la complexitat i maduresa de la comunitat que volem estudiar (Margalef, 1978). Les comunitats naturals tenen valors de diversitat específica que se situen entorn de 2 o una mica per sobre, quan té lloc una pertorbació a l'ecosistema es produeix una pèrdua d'espècies i la diversitat pot experimentar una forta disminució (Margalef, 1995).

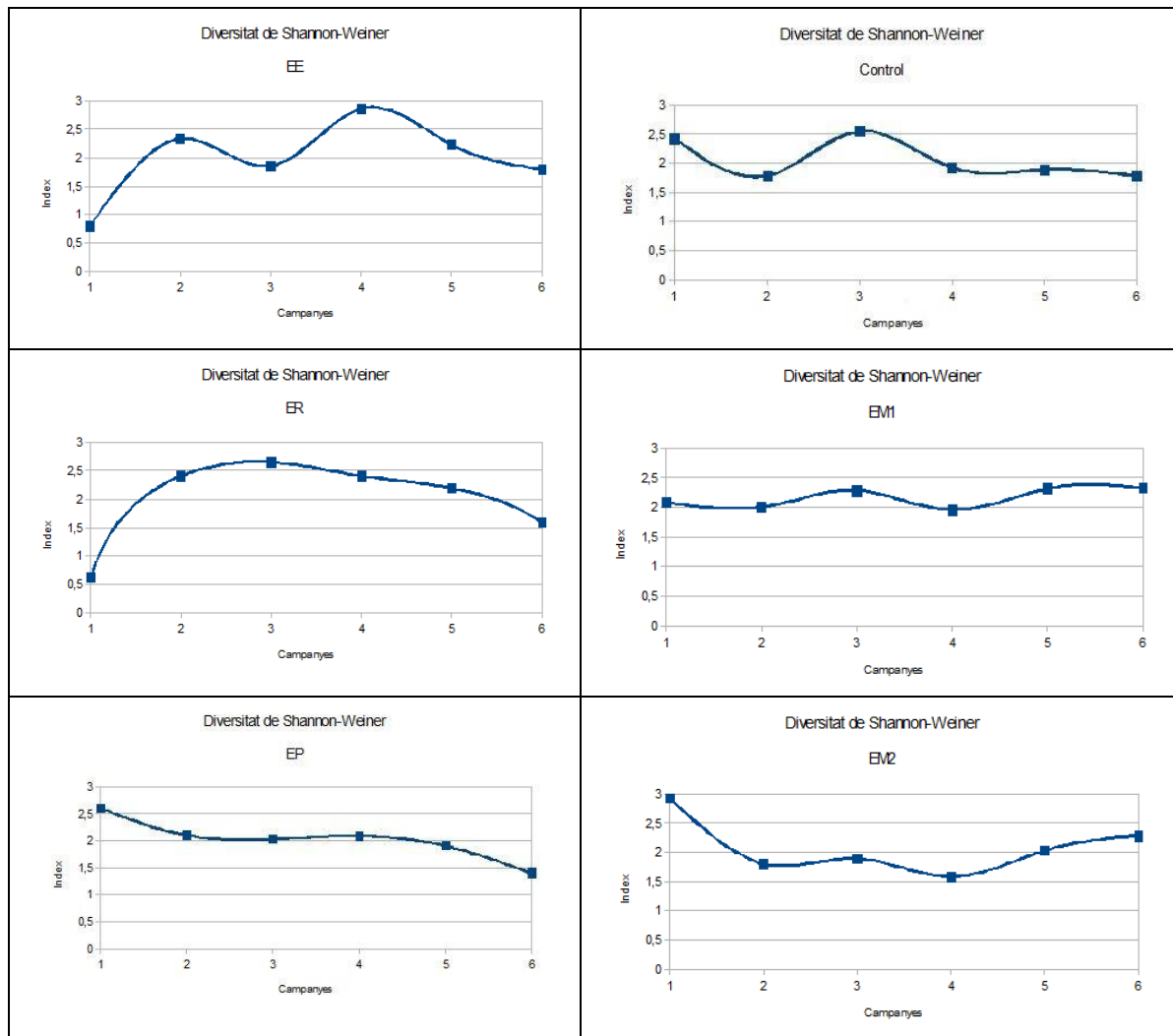


Figura 6.- Evolució de la diversitat específica del fitoplàncton, expressada en bits, a les diferents estacions mostrejades al llarg de les sis campanyes.

A la Figura 6 s'observa com la majoria dels valors de la diversitat específica determinats són del ordre del que és previsible en condicions naturals, però a les estacions situades a dintre del Port es produeixen les majors variacions del índex, en concret en el primer mostreig i en els llocs ER i EE, on va tenir lloc la proliferació d'una euglenofícia, la diversitat registre un valor molt baix propi d'una comunitat pràcticament formada per una sola espècie, la pertorbació deguda probablement a una aportació de matèria orgànica és la que determinarà la selecció del tàxon que millor s'adapta a la pertorbació. El mateix passa al lloc EP, també dintre del Port, al darrer mostreig, amb un valor de l'índex baix, conseqüència de la disminució del número d'espècies presents a la mostra.

Les altres estacions mostrejades presenten una major constància en els valors de la diversitat específica, només a la EM2 el rang de variació és lleugerament superior, tal volta relacionades amb entrades de nutrients des de l'emissari.

4.3 Picoplàncton

Actualment als estudis sobre les xarxes tròfiques dels ecosistemes aquàtics a més del fitoplàncton, constituït fonamentalment per algues eucariotes, s'inclouen els microorganismes fotosintètics de mida compresa entre 0,2 i 2 μm , que integren la fracció del picoplàncton i que majoritàriament pertanyen al grup dels cianobacteris. Als ecosistemes marins aquesta fracció més petita pot arribar a representar una part important de la producció primària, sobretot als ecosistemes més oligotròfics (Ducklow, 1999), segons Siokou-Frangou (2009) en determinades zones del mar Mediterrani el picoplàncton podria arribar a aportar el 65% de la producció fotosintètica.

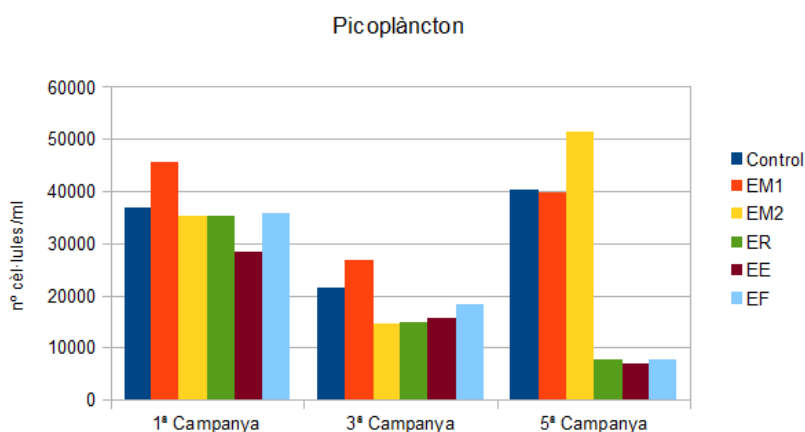


Figura 7.- Concentracions de picoplàncton, en cèl·lules/mL, a les tres campanyes en que fou analitzada aquesta fracció del fitoplàncton.

Els aspectes més significatius de les concentracions de picoplàncton a les tres campanyes en que aquesta comunitat fou analitzada (Figura 7) són els següents: al primer dels mostreigs, el corresponent a la primera quinzena de març, les quantitats de picoplàncton presentaren una certa uniformitat a totes les estacions i foren relativament altes; al tercer mostreig, el de la meitat del mes d'abril, s'observa una reducció del picoplàncton a totes les estacions, mentre que al cinquè mostreig, corresponent a la segona meitat del mes de maig, és quan observem les majors diferències entre estacions, amb valors màxims als llocs ubicats sobre l'emissari i mínims, i força baixos, als del Port.

Soc conscient que amb la informació disponible és aventurat extreure qualsevol conclusió sobre la dinàmica del picoplàncton a la zona estudiada, el que si és segur és

què, d'acord amb la bibliografia, les màximes concentracions de picoplàncton al mar Mediterrani és troben durant l'estiu (Agawin *et al.*, 1998; 2000), el que ens justificaria les diferències observades entre les estacions interiors i exteriors de l'àrea d'estudi en el cinquè mostreig.

Per donar una mica més de consistència als resultats obtinguts també és important recordar que hi ha dos tipus de sistemes tròfics dominants en els sistemes aquàtics, per una banda hi ha la xarxa tròfica microbiana, típica de sistemes oligotròfics (Ducklow, 1999) on la producció primària principalment és deguda al picoplàncton. i per altre banda la xarxa tròfica multívora, en la que la producció primària és deguda principalment a les fraccions del nanno i el microfitoplàncton. D'acord amb aquestes consideracions teòriques, els resultats indicarien que a l'àrea estudiada funcionen els dos sistemes tròfics: per una banda en el Port dominaria la xarxa multívora, amb una menor incidència del picoplàncton, metre que la xarxa microbiana dominaria en la resta d'estacions. A la xarxa multívora tendeixen a dominar les diatomees i és el que passa a les estacions de dins del Port (Figura 6), de fet en totes les campanyes a l'estació ER han dominat les diatomees.

4.4 Clorofil·la a

La concentració de clorofil·la *a* és un paràmetre freqüentment utilitzat en ecologia per mesurar la biomassa del fitoplàncton, perquè la determinació és fàcilment realitzable i té una alta reproductibilitat. A la majoria dels oceans, i en particular al Mediterrani, els valors de la concentració de clorofil·la són més baixos que a les aigües epicontinentals i no solen superar 1 µg/L, i pel Mediterrani Occidental alguns autors donen un valor promig de l'ordre de 0,30 µg/L (Santoleri *et al.*, 2008); només a les àrees més productives o durant els màxims primaverals del fitoplàncton es superen els valors als que m'he referit.

La concentració de clorofil·la *a* és una mètrica utilitzada a la Directiva Marca de l'Aigua per estimar l'estat ecològic de les aigües costaneres (Devlin, *et al.* 2007), i així s'ha aplicat amb aquest objectiu als estudis realitzats a aquests ecosistemes del Arxipèlag Balear (Puigserver & Moyà, 2007; Puigserver & Moyà, 2010, Puigserver *et al.*, 2010).

Les concentracions de clorofil·la *a* determinades a aquest treball han oscil·lat entre un valor màxim de 9,93 µg/L, obtingut a l'estació EE de l'interior del Port al primer mostreig, i un mínim de 0,056 µg/L, obtingut a l'estació EM2 al tercer mostreig. A la Taula VII de l'Annexa es presenten tots els valors de clorofil·la determinats al llarg del estudi, tal i com es pot observar la majoria de mostres es troben per sota de la concentració mitjana de 0,30 µg/L clorofil·la *a* proposada per Santoleri (2008) com a

mitjana pel Mediterrani Occidental. A les estacions ER i EE de l'interior del Port és on s'ha sobrepassat el major nombre de vegades aquest valor. En la primera campanya el bloom de les euglenes explica l'alta concentració de clorofil·la a en aquestes estacions, de la mateixa manera que les elevades concentracions de petits flagel·lats expliquen els increments en aquestes mateixes estacions durant la tercera i quarta campanya a l'estació EE i en la sisena campanya a l'estació ER.

Als treballs anteriorment sobre tota la zona costanera de les Illes Balears per implementar la Directiva Marc de l'Aigua (Puigserver i Moyà, 2007; Puigserver i Moyà, 2010) i seguint les propostes de Devlin *et al.* (2007), s'establí la concentració de clorofil·la a de 0,25 µg/L com a valor de referència per sota del qual es cataloga una massa d'aigua en un estat ecològic molt bo, per sobre de 0,25 i fins a 0,31 µg/L l'estat ecològic es considera bo, si no es superen els 0,36 µg/L l'estat ecològic es considera moderat, fins els 0,42 µg/L l'estat ecològic es considera dolent, i si les concentracions de clorofil·la a superen aquest valor l'estat ecològic es considera molt dolent.

D'acord amb els valors d'aquesta escala en la majoria dels casos l'estat ecològic de la zona estudiada es pot considerar molt bo. Però cal fer alguns matisos a aquesta consideració global, per això i per intentar tenir una visió de tot el període d'estudi he preparat la Taula 5, en la que es presenten les mitjanes per les diferents àrees estudiades considerant totes les campanyes de mostreig.

Campanya	Clorofil·la a µg/L						Mitjana de totes les campanyes
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	
Mitjana Port	6,29	0,14	0,23	0,24	0,22	0,38	1,25 / 0,24*
Mitjana Emissari	0,16	0,20	0,06	0,10	0,08	0,13	0,12
Mitjana Exterior (Emissari + Control)	0,18	0,25	0,07	0,10	0,07	0,11	0,13
Mitjana de cada campanya	3,23 / 0,18*	0,20	0,15	0,17	0,14	0,24	

Taula 5.- Mitjanes de les concentracions de clorofil·la a per estacions mostrejades, agrupades per àrees, files, i per les mateixes àrees en cada campanya de mostreig, columnes. Els valors marcats amb un asterisc són les mitjanes de les estacions del Port excloent els màxims del primer mostreig.

A la Taula 5 es poden diferenciar varies situacions:

1.- Considerades conjuntament tant les estacions situades a sobre de l'emissari, com aquestes més l'estació de Control, presenten, d'acord amb la concentració de clorofil·la *a*, un estat ecològic molt bo. Caldria matisar sobre el valor de 0,25 obtingut a la segona campanya al conjunt emissari + Control, que es degut a la concentració diríem "alta", pel context en el que ens movem, de clorofil·la determinat a l'estació Control, que fou de 0,36 µg/L, per tant al llindar entre els estats ecològics moderat i dolent.

Molt probablement aquest màxim de clorofil·la a l'estació Control l'hem d'associar amb el creixement primaveral de fitoplàncton a aquest lloc, situació previsible per la data, finals de març, en que es realitzà el mostreig, de fet en les Figures 6 i 7 s'observa com, en aquests moments, el màxim de fitoplàncton correspon a aquesta estació i paral·lelament hi ha una disminució de la diversitat específica i també de la transparència de l'aigua.

Però això mateix no passa en el quart mostreig, a principis de maig, quan el màxim de fitoplàncton també es dona a l'estació de Control (Figura 6) però la concentració de clorofil·la *a* en aquests moments és més baixa, probablement perquè és tracta de cèl·lules més petites i, per tant, amb un menor contingut de clorofil·la per cèl·lula.

2.- Excepte en el segon mostreig, sempre les mitjanes de les concentracions de clorofil·la foren superiors a les estacions del Port, destacant el valor molt alt del primer mostreig, que ens indica un estat ecològic molt dolent, i que com he explicat anteriorment es deu a la proliferació del tàxon del grup de les euglenes, inclús podem parlar d'unes condicions ecològiques clarament eutròfiques i excepcionals pel medi marí.

El valor de 0,38 µg/L del darrer mostreig, degut a la concentració alta de clorofil·la del lloc ER, també du a qualificar l'estat ecològic de la zona com a dolent, de l'observació de les Figures 5 i 6 es dedueix que a l'estació ER s'ha produït un fort creixement de flagel·lats del grup de les criptofícies i la diversitat específica també ha disminuït.

3.- Si només es miren les mitjanes globals de tota l'àrea estudiada, considerant les campanyes juntes com per separat, els resultat és que només les estacions situades dins del Port de Cala Ratjada s'aparten de l'estat ecològic molt bo.

Això s'ha de relacionar amb el fet que el Port no és un ecosistema natural en sentit estricte, sinó que, d'acord amb la Directiva Marc de l'Aigua, entre dins la categoria dels ecosistemes modificats o inclús artificials, pels quals a hores d'ara encara no hi ha definits uns llindars de concentracions de clorofil·la *a*, consensuats internacionalment, per establir l'estat ecològic.

5. Discussió

Al llarg de la presentació dels resultats he intentat discutir els aspectes més significatius que d'aquests se'n dedueixen, ara a partir de les possibles relacions entre els valors quantitius de paràmetres relacionats amb el fitoplàncton tractaré de donar mica més de coherència al conjunt de resultats obtinguts.

La primera d'aquestes relacions és la que es mostra la Figura 8 entre l'abundància de fitoplàncton i la concentració de clorofil·la *a*, com es pot observar, tot i que no podem parlar d'una correlació estricta entre ambdós paràmetres si que és pot deduir que existeix un paral·lelisme entre els respectius valors, especialment per les concentracions més altes de clorofil·la i en particular les superiors al llindar que defineix un estat ecològic molt bo. Excepte situacions puntuals de les estacions Control i EM2, tots el valors més alts dels dos paràmetres corresponen als llocs de mostreig ubicats dintre del Port, això és podria justificar, al manco parcialment, perquè és on sempre dominen les diatomees i aquestes per la seva mida tenen major concentració de pigment.

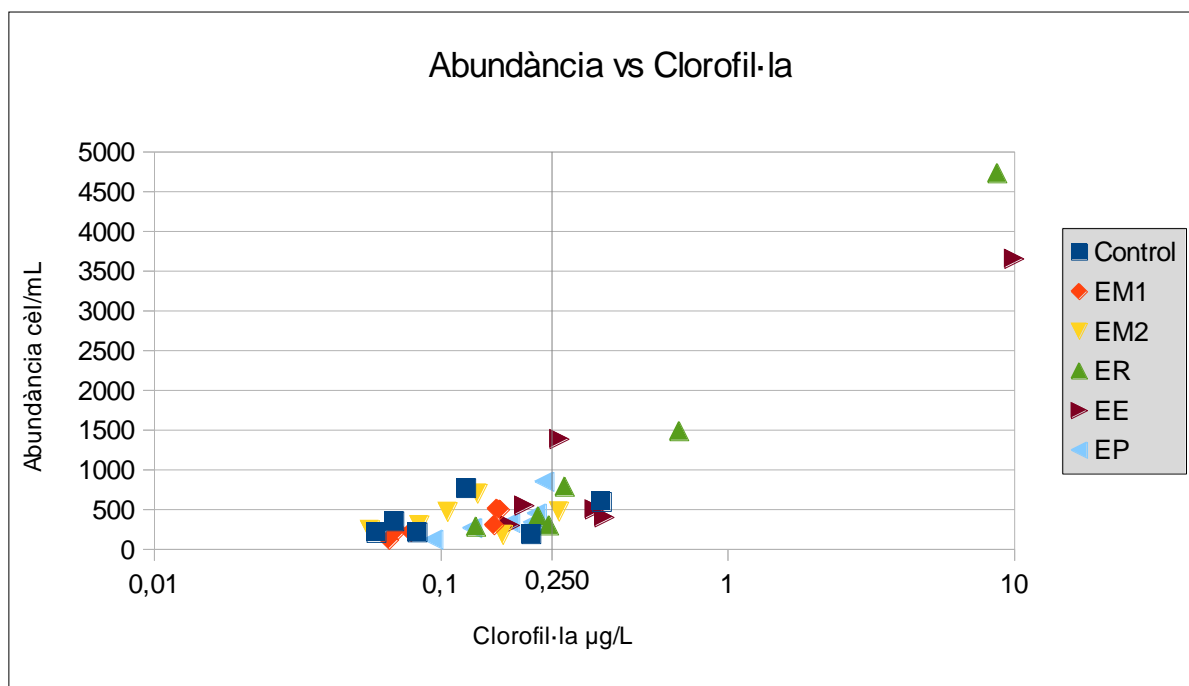


Figura 8.- Representació gràfica de l'abundància del fitoplàncton en funció de la concentració de clorofil·la *a*. La línia que marca els 0,25 µg/L, representa la separació entre les concentracions de clorofil·la indicadores d'un estat ecològic molt bo i la resta d'estats.

La segona de les relacions és la que existeix entre la diversitat específica del fitoplàncton calculada amb l'índex de Shanon–Weaver i la concentració de clorofil·la

(Figura 9), en aquest cas el que sembla més evident és les majors concentracions de clorofil·la es donen en situacions de diversitat baixa, deguda al creixement d'una o unes poques espècies les quals fan augmentar la clorofil·la, no tant pel contingut cel·lular de pigment sinó per la gran densitat de cèl·lules. Això que passa principalment a les estacions de l'interior del Port, com ja he comentat en anteriors apartats, ho hem d'associar a pertorbacions, en forma d'entrada de nutrients orgànics o inorgànics, que afavoreixen el creixement de determinades espècies.

Es tracta d'un fet interessant des de una perspectiva ecològica, perquè pertorbació en ecologia és equivalent a destrucció de la complexitat o la maduresa d'una comunitat, el que fa que aquesta retorni a etapes més primerenques de la successió ecològica en les que la diversitat és menor (Margalef, 1978).

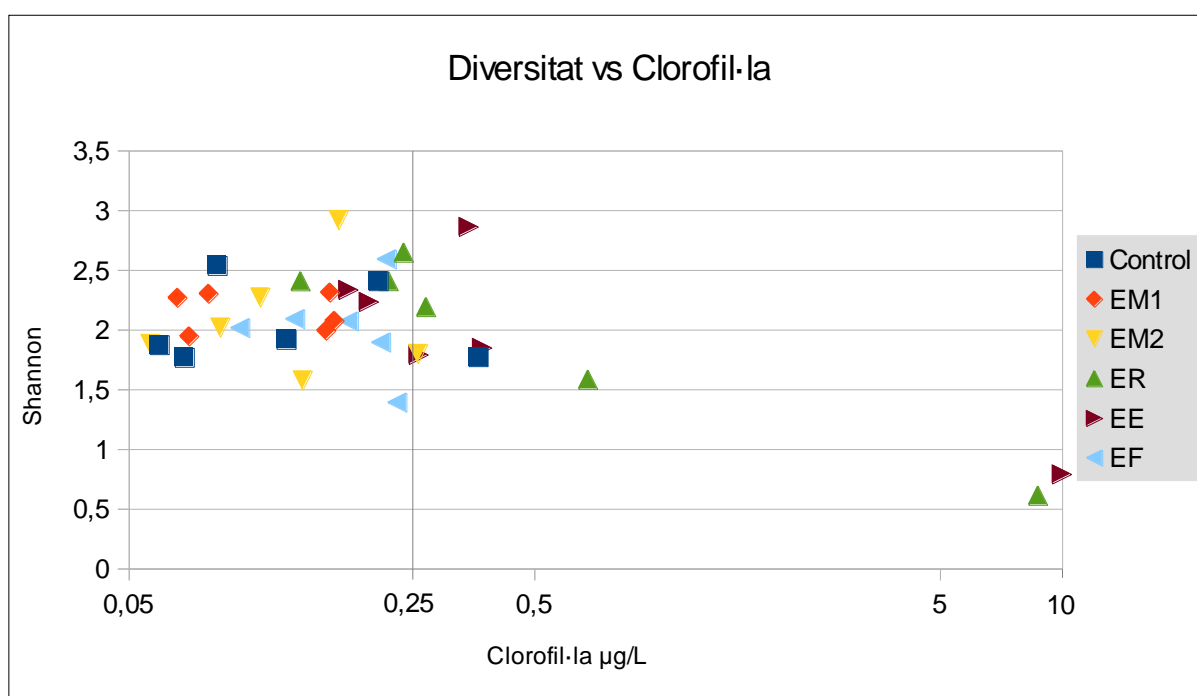
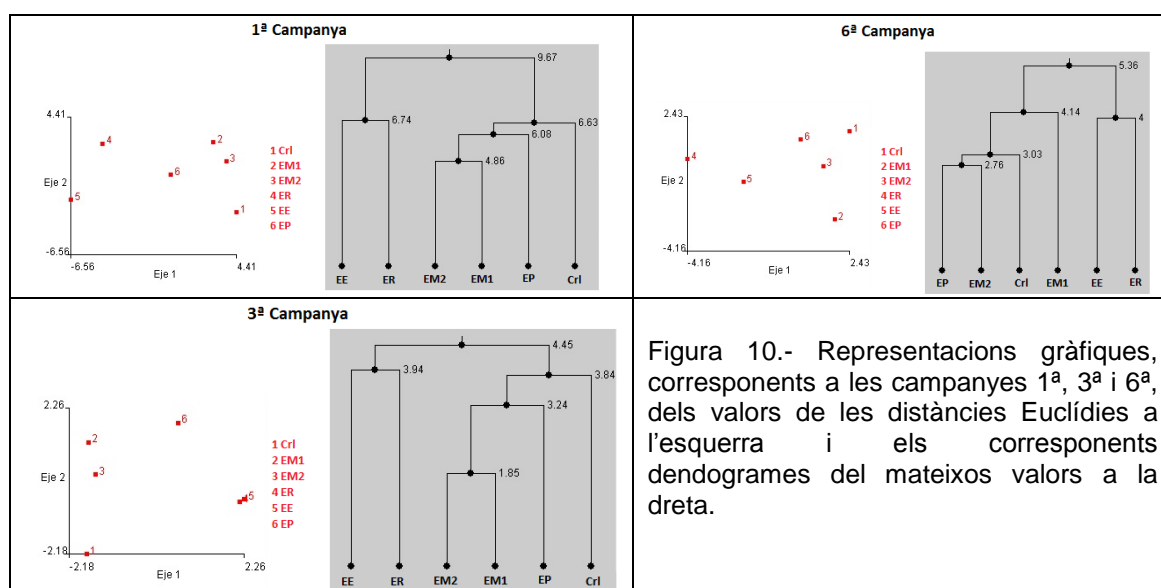


Figura 9.- Representació gràfica de diversitat del fitoplàncton en funció de la concentració de clorofil·la a. La línia que marca els 0,25 µg/L, representa la separació entre les concentracions de clorofil·la indicadores d'un estat ecològic molt bo i la resta d'estats.

La tercera relació que vull mostrar és la que resulta de comparar totes les estacions mostrejades, agafant com a referència tant els llistats dels taxons com la seva abundància en cada una d'elles. Això s'ha fet utilitzant el paràmetre conegut en ecologia com a índex de similaritat, a partir del qual es poden establir similituds entre comunitats d'un mateix sistema. En aquest cas he emprat la Distància Euclidia, és una mesura de disimilaritat, per lo tant, el valor representat indica la distància entre les variables comparades.

El tractament de les dades s'ha fet amb el software informàtic applet 9.2 (Piñol et al., 2006), així s'obté una matriu amb la qual es poden representar els valors en un eix de coordenades i posteriorment fer un dendograma amb el que es visualitza la relació entre les diferents estacions. Discutiré els resultats corresponents a la primera, a la tercera i a la darrera campanya (Figura 10), a la Figura 1 de l'Annexa es mostren les matrius corresponents.

A la primera campanya, es veu clarament com dues de les estacions de l'interior del Port, les EE i ER, estan pròximes entre elles i ben separades de les altres estacions, així mateix també es troben pròximes les dues estacions de sobre l'emissari EM2 i EM1. L'altra estació de dintre del Port, la EP, s'ubica entre les dues del emissari i la Control. A la tercera campanya el patró és similar, tot i que les distàncies entre estacions són ara més curtes. Mentre que al sisè mostreig es mantenen pròximes les dues estacions més interiors del Port, però les altres quatre estacions es troben barrejades, les estacions més pròximes són la EP i la EM2, i l'estació Control s'ubica entre aquelles i l'estació EM1.



Per tant els resultats de d'aquest anàlisi donen una relació molt estreta entre les estacions EE i ER, les més internes del Port, per altre banda, l'estació EP que es considera dins el Port, presenta valors més pròxims a les estacions exteriors. Lo qual ens indicaria que aquesta estació té una influència directe tant de les aigües del Port com de les aigües de fora. Un altre aspecte a destacar es que les estacions EM1 i EM2, molt pròximes, tenen major semblança amb l'estació EP que amb l'estació Control, fet que indica unes comunitats semblants, i unes influències tant naturals com antròpiques del mateix tipus.

Tot plegat incideix en la idea de que els sis llocs estudiats s'estructuren formant un gradient, determinat per les condicions que actuen sobre cada un d'ells, i al qual podem aproximar-nos a partir de les comunitats de microalgues que actuen com a sensor d'aquelles condicions.

6. Conclusions

En aquest apartat intentaré exposar de forma sintètica les que, d'acord amb els objectius plantejats, són per mi les principals conclusions de l'estudi:

- 1) El treball m'ha permès aprendre algunes de les metodologies utilitzades per l'estudi de les comunitats fitoplanctòniques dels ecosistemes marins, tant pel que fa el treball de camp de recollida de mostres, com pels anàlisis de laboratori, principalment les tècniques microscòpiques d'identificació i quantificació de les microalgues.
- 2) He pogut experimentar per primer cop la seqüència que suposa la recollida de mostres, el seu anàlisi, l'obtenció de dades de diferent naturalesa, el seu tractament i l'obtenció d'uns resultats qualitius i quantitius, la discussió i síntesi en unes conclusions que siguin coherents amb els resultats obtinguts.
- 3) A l'àrea estudiada s'han identificat 68 tàxons de microalgues i cianobacteris, que representen una mostra significativa dels principals grups d'organismes que integren les comunitats fitoplanctòniques marines.
- 4) D'acord amb la hipòtesi de partida, les comunitats de fitoplàncton han presentat heterogeneïtat, tant a l'espai com en el temps, fet que ha permès establir diferències entre els distints llocs de mostreig.
- 5) Utilitzant com a mètrica la concentració de clorofil·la a s'ha determinat l'estat ecològic de l'àrea estudiada, diferenciant-se el Port, com un ecosistema artificial o molt modificat, amb un estat ecològic deficient, de la resta d'estacions amb un estat ecològic molt bo.
- 6) Aquest treball és una primera aportació al coneixement del litoral de Capdepera i el Port de Cala Ratjada, els resultats obtinguts, amb les pertinents correccions i suggeriments dels experts, esper que sigui una informació útil i integrable en la base de dades per a l'aplicació de la DMA als ecosistemes costaners de les Balears.

7. Bibliografia

- Agawin, NSR; Duarte, CM.; Agustí, S. (1998). Growth and abundance of *Synechococcus* sp. in a Mediterranean Bay: seasonality and relationship with temperature. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 170: 45-53.

- Agawin, NSR; Duarte, CM.; Agustí, S. (2000). Response of Mediterranean *Synechococcus* sp. growth and loss rates to experimental nutrient inputs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 202: 97-106.
- Avancini M., Cicero A.M., Di Girolamo I., Innamorati M., Magaletti E., Sertorio Zunini T. (2006). *Guida al riconoscimento del plancton dei mari italiani, Vol. I – Fitoplancton*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – ICRAM. 503 pp. Roma.
- Devlin M., Best M., Coates D., Bresnan E., O'Boyle S., Park R., Silke J., Cusack C. & Skeats J. (2007) Establishing boundary classes for the classification of UK marine waters using phytoplankton communities. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 91-103.
- Ducklow, H. W. (1999). The bacterial component of the oceanic euphotic zone. *FEMS Microbiology Ecology*. 30: 1-10.
- Estrada, M. (1996). Primary production in the northwestern Mediterranean. *Scientia Marina*. 60 (2): 55-64.
- Folch, R. (director) (1989). Plantes inferiors. *Història Natural dels Països Catalans*, 4. 58 pp. Enciclopedia Catalana. Barcelona.
- Folch, R. (director) (1989). Sistemes Naturals. *Història Natural dels Països Catalans*, 14. 500 pp. Enciclopedia Catalana. Barcelona.
- Jansà, J. (2008). ¿Es el mar Balear un mar oligotròfic?. Síntesi sobre les dades de clorofil·la fitoplanctònica obtinguda des de 1974 al Centre Oceanogràfic de Balears (IEO). *Estudis Baleàrics* (IEB) 88/89.
- Jeffrey, S. W. & F. Humphrey (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophyll a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen*. 167: 191-194.
- IOC (2010). Microscopic and Molecular Methods for quantitative Phytoplankton Analysis. *Manuals and Guides*, 55. UNESCO. París.
- Margalef, R. (1978). *Perspectivas de la teoría ecológica*. 110 pp. Blume. Barcelona.
- Margalef, R. (edit.) (1985). *Western Mediterranean*. 363 pp. Pergamon Press. Oxford.
- Margalef, R. (1995). *Ecología*. 968 pp. Omega. Barcelona.
- Marty, J. C., Chiavérini, J., Pizay, D. y Avril, B. (2002). Seasonal and interannual dynamics of nutrients and phytoplankton pigments in the Western Mediterranean Sea at the DYFAMED time-series station (1991-1999). *Deep-Sea Research II*. 49: 1965-1985. 3977.

- Piñol, J., Martínez-Vilalta, J. 2006. *Ecología con números*. Lynx Edicions. Barcelona (España). CD contenido de applets, applet 9.2.
- Puigserver, M. i G. Moyà (2007). *Estudi de la composició i abundància del fitoplàncton, destinat a l'avaluació de l'estat ecològic de les masses d'aigua costaneres de les Illes Balears, en el marc de la implantació de la Directiva Marc Europea de l'Aigua*. Conveni de col·laboració entre l'Institut Balear de l'Aigua del Govern de les IB i la UIB per a l'Estudi d'implementació de la DMA a les Balears. 24 pàgines + annexes.
- Puigserver, M. i G. Moyà (2010). *Estudi del fitoplàncton, destinat a l'avaluació de l'estat ecològic de les masses d'aigua costaneres de les Illes Balears, en el marc de la implantació de la Directiva Marc Europea de l'Aigua (WFD). Fase II*. Conveni de col·laboració entre l'Institut Balear de l'Aigua del Govern de les IB i la UIB per a l'Estudi d'implementació de la DMA a les Balears. 205 pàgines.
- Puigserver, M., N. Monerris, J. Pablo, J. Alós, G. Moyà (2010). Abundance patterns of the toxic phytoplankton in coastal water of the Balearic Arcipelago (NW Mediterranean Sea): a multivariate approach. *Hydrobiologia* 644: 145-157.
- Reynolds, C.S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Salat, J. i Font, J. (1985). Masses d'aigua i circulació a la Mediterrània. A: Flos, J. (Ed.) *L'Oceanografia. Introducció a l'ecologia marina mediterrània*. Quaderns d'ecologia aplicada, pp. 61-97. Diputació de Barcelona. Servei de Medi Ambient. Barcelona.
- Santoleri, R., Volpe, G., Marullo, S. y Buongiorno Nardelli, B. (2008). Open waters optical remote sensing of the Mediterranean Sea. In: Barale, V. & Gade, M. (Eds.). *Remote sensing of the European Seas*. Springer. New York. pp: 103-116.
- Siokou-Frangou, I., Christaki, U., Mazzocchi, M.G., Montresor, M., Ribera d'Alcalà, M., Vaqué, D. y Zingone, A. (2009). Plankton in the open Mediterranean Sea: a review. *Biogeosciences Discussions*, 6: 11187-111293.
- Tell, G. y V. Conforti (1986). *Euglenophyta Pigmentadas de la Argentina*. Bibliotheca Phycologica. Ed: Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, J. Cramer.
- Unión Europea (2000). Directiva 2000/60/CE del 23 de octubre de 2000. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 22/12/2000. L 327/1-73 pp.

Annexa

Taules

Taula I. Llistat de taxons identificats

Tàxons	Talla
DINOPHYCEAE (Dinoflagel·lades)	
<i>Akasiwo sanguinea</i> (#)	2
<i>Ceratium candelabrum</i>	2
<i>Ceratium furca</i>	2
<i>Ceratium fusus</i>	2
<i>Ceratium tripos</i>	2
<i>Ceratium declinatum</i>	2
<i>Ceratium macroceros</i>	2
<i>Ceratium rapines</i>	2
<i>Ceratium trichoceros</i>	2
<i>Corythodinium tessellatum</i>	2
<i>Dinophysis hastata</i> (*)	2
<i>Dinophysis acuminata</i> (*)	2
<i>Gonyaulax polygramma</i>	2
<i>Gyrodinium</i> sp.	2
<i>Heterocapsa</i> sp.	1
<i>Karenia brevis</i> (*)	1
<i>Mesoporos</i> sp.	2
<i>Ornithocercus magnificus</i>	2
<i>Ostreopsis ovata</i>	2
<i>Oxytoxum scolopax</i>	2
<i>Prorocentrum compressum</i>	2
<i>Prorocentrum gracile</i>	2
<i>Prorocentrum lima</i> (*)	2
<i>Prorocentrum mexicanum</i> (*)	2
<i>Prorocentrum micans</i>	2
<i>Protoperidinium divergens</i>	2
<i>Protoperidinium steini</i>	2
<i>Protoperidinium</i> sp.	2
<i>Scippsiella</i> sp.	1
<i>Dinophyceae</i> (sense identificar)	1

Tàxons	Talla
BACILLARIOPHYCEAE (Diatomees)	
CENTRALS	
<i>Asterolampra marylandica</i>	2
<i>Cerataulina pelagica</i>	2
<i>Chaetoceros</i> sp.	1 i 2
<i>Coscinodiscus</i> sp.	1 i 2
<i>Cymatosira</i> sp.	2
<i>Dactyliosolen fragilisimus</i>	2
<i>Hemiaulus hauckii</i>	2

<i>Hemiaulus sinensis</i>	2
<i>Paralia sulcata</i>	2
<i>Proboscia alata</i>	2
<i>Rhizosolenia</i> sp.	2
<i>Skeletonema</i> sp.	2
<i>Bacillariophyceae</i> (Centrals grans sense identificar)	2
PENNALS	
<i>Amphora</i> sp.	1 i 2
<i>Cocconeis</i> sp.	1
<i>Cylindrotheca closterium</i>	2
<i>Denticula</i> sp.	2
<i>Diploneis</i> sp.	2
<i>Entomoneis</i> sp.	2
<i>Licmophora</i> sp.	2
<i>Navicula</i> sp.	1 i 2
<i>Nitzschia</i> sp.	1
<i>Pleurosigma</i> sp.	2
<i>Pseudonitzschia fraudulenta</i>	2
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i> (*)	2
<i>Pseudonitzschis subfraudulenta</i>	2
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	2
<i>Striatella unipunctata</i>	2
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	2
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	2
<i>Bacillariophyceae</i> (petites pennades sense identificar)	1

Tàxons	Talla
FLAGEL·LATS	
CRYPTOPHYCEAE	1
EUGLENOPHYCEAE	1
PRASINOPHYCEAE	
<i>Pyramimonas</i> sp.	1
Nanoflagel·lats > 5µm	1
Ultraflagel·lats < 5µm	1
ALTRES:	
CIANOPHYCEAE	
<i>Merismopedia</i> sp.	2
CLOROPHYCEAE	
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	2
DICTIOPHYCEAE	
<i>Dictyocha fibula</i>	2
<i>Dictyocha speculum</i>	2

(*) Tàxons tòxics segons la IOC.

(#) Tàxons formadors de proliferacions.

Talla: 1=petita, 2=gran

Taula II. Temperatura

Campanya	1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a		5 ^a		6 ^a	
Temperatura °C												
Estació	s	f	s	F	S	f	s	F	s	f	s	F
ER	14,13	14,24	15,28	15,19	16,60	16,40	18,82	18,73	19,79	19,72	--	--
EE	14,08	14,01	15,02	14,93	16,60	15,90	18,34	18,21	19,69	19,54	--	--
EP	14,09	14,06	15,02	15,02	16,00	15,70	18,09	18,09	19,52	19,52	--	--
EM1	14,21	13,91	14,31	14,13	16,05	15,34	17,05	16,82	18,91	18,77	--	--
EM2	14,14	13,82	14,27	14,1	16,02	14,71	17,02	16,76	18,92	18,21	--	--
Control	13,98	13,79	13,99	13,94	15,58	14,8	17,30	17,10	18,61	18,21	22,23	21,02

Taula III. Salinitat

Campanya	1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a		5 ^a		6 ^a	
Salinitat g/L												
Estació	s	f	s	f	S	f	s	f	s	f	s	f
ER	36,6	36,8	36,8	36,8	36,9	37,0	36,8	36,8	36,0	36,1	--	--
EE	36,8	37,0	36,8	36,9	36,9	36,9	36,8	36,9	36,6	36,5	--	--
EP	36,8	36,9	36,8	36,8	36,9	37,0	36,8	36,8	36,5	36,5	--	--
EM1	37,0	37,1	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	36,6	36,6	--	--
EM2	37,0	37,1	37,0	37,0	37,0	37,0	36,9	36,9	36,9	36,8	--	--
Control	37,0	37,1	37,1	37,1	37,0	37,0	37,0	37,0	36,7	36,8	--	--

Taula IV. Concentració Oxigen dissolt

Campanya	1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a		5 ^a		6 ^a	
Oxigen dissolt mg/L												
Estació	s	f	s	F	s	f	S	f	s	f	s	f
ER	7,25	6,96	7,37	7,35	--	--	9,55	8,95	5,35	4,95	--	--
EE	6,83	6,63	7,82	7,65	--	--	9,69	9,10	6,10	6,98	--	--
EP	7,63	7,48	7,72	7,72	--	--	10,26	9,97	6,64	6,44	--	--
EM1	6,16	6,15	4,50	4,60	7,96	8,61	8,94	8,51	7,62	7,58	--	--
EM2	6,26	6,20	4,39	4,53	7,89	8,26	7,72	8,28	8,00	7,96	--	--
Control	6,29	6,25	4,58	4,85	7,09	7,20	--	--	7,72	7,99	7,28	7,41

Taula V. Tant per cent de saturació d'oxigen

Campanya	1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a		5 ^a		6 ^a	
Tant per cent de saturació d'oxigen												
Estació	s	f	s	f	s	f	S	f	s	f	s	f
ER	83,3	79,1	82,3	81,8	--	--	117,5	109,5	67,0	62,0	--	--
EE	79,0	76,8	88,1	86,2	--	--	118,7	110,0	76,4	74,8	--	--
EP	88,3	85,2	87,1	87,1	--	--	125,4	121,7	83,0	79,8	--	--
EM1	71,3	70,9	50,0	50,9	96,9	104,2	108,6	101,0	93,0	92,5	--	--
EM2	72,4	71,3	48,7	50,1	96,7	98,5	92,0	98,0	97,7	96,1	--	--
Control	72,7	72,0	50,5	53,5	85,7	86,1	--	--	94,0	96,5	94,5	94,2

Taula VI. Disc de Secchi (Transparència)

Campanya	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
Disc de Secchi (Transparència metres)						
Estació						
ER	1,2 (fons)	1,2 (fons)	1,2 (fons)	1,2 (fons)	1,2 (fons)	1,2 (fons)
EE	2,2 (fons)	2,2 (fons)	2,2 (fons)	2,2 (fons)	2,2 (fons)	2,2 (fons)
EP	1,3 (fons)	1,3 (fons)	1,3 (fons)	1,3 (fons)	1,3 (fons)	1,3 (fons)
EM1	4,8 (fons)	5,7 (fons)	6 (fons)	5,5 (fons)	5,5 (fons)	5,5 (fons)
EM2	12,5	8,5	13 (fons)	13 (fons)	12,5	12,3 (fons)
Control	11	8	15	11	17	20

Taula VII. Concentració de clorofil-la a

Campanya	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
Clorofil-la a µg/L						
Estació						
ER	8,705	0,132	0,238	0,218	0,270	0,677
EE	9,973	0,174	0,371	0,344	0,195	0,259
EP	0,216	0,128	0,094	0,174	0,209	0,229
EM1	0,161	0,153	0,066	0,070	0,079	0,157
EM2	0,164	0,258	0,056	0,134	0,084	0,105
Control	0,206	0,363	0,083	0,122	0,059	0,069

Figures

Matriu 1^a Campanya

	i1	i2	i3	i4	i5	i6
i1	0	6.821	5.917	10.521	11.632	7.154
i2	6.821	0	4.864	8.767	10.655	6.412
i3	5.917	4.864	0	9.398	11.065	5.748
i4	10.521	8.767	9.398	0	6.744	7.106
i5	11.632	10.655	11.065	6.744	0	8.242
i6	7.154	6.412	5.748	7.106	8.242	0

Matriu 3^a Campanya

	i1	i2	i3	i4	i5	i6
i1	0	3.682	3.209	5.038	4.674	4.632
i2	3.682	0	1.854	4.615	4.885	2.974
i3	3.209	1.854	0	4.385	4.442	3.507
i4	5.038	4.615	4.385	0	3.942	4.206
i5	4.674	4.885	4.442	3.942	0	3.376
i6	4.632	2.974	3.507	4.206	3.376	0

Matriu 6^a Campanya

	i1	i2	i3	i4	i5	i6
i1	0	4.493	2.79	6.799	5.566	3.279
i2	4.493	0	3.431	6.701	5.004	4.507
i3	2.79	3.431	0	5.975	3.669	2.762
i4	6.799	6.701	5.975	0	4.005	5.276
i5	5.566	5.004	3.669	4.005	0	3.906
i6	3.279	4.507	2.762	5.276	3.906	0

Figura I.- Matrius corresponents a la distància Euclídea entre estacions a tres de les campanyes.