

Itsas fitoplanktonaren fotosintesi-ezaugarriak Plentziako badian

Josu de Madariaga

Ekologi Laborategia,
Landare-Biologia eta Ekologia Saila,
Zientzi Fakultatea,
Euskal Herriko Unibertsitatea,
644 P.K., 48080 Bilbao.

Carlos García-Soto

Plymouth Marine Laboratory,
Prospect Place, West Hoe,
Plymouth PL1 3DH, U.K.

Abstract

The day-to-day variability in the photosynthetic characteristics of phytoplankton were examined over a 17-day summer period in a shallow embayment located in the Basque Country (Bay of Biscay) and related to changing environmental conditions. Variations in the chemical properties of the ecosystem occurred as a consequence of river runoff changes in the estuary. Increased nutrient levels after a rain pulse led to the subsequent development of a Skeletonema-dominated population. The end of such phytoplankton proliferation was associated with the depletion of silicate.

Photosynthetic parameters derived from photosynthesis-irradiance curves, the light saturated production rate, P_m^B , and the initial slope, α^B , were determined; both estimates showed a tenfold variation during the study period. Correlation analysis attributed most of the variation in P_m^B and α^B to changes in the phytoplankton community structure, i.e. the development of a diatom bloom. P_m^B was also controlled by nutrient availability, whereas α^B and I_k showed a strong dependence on the total amount of light received during the previous 24 h. The development of mathematical models of phytoplankton production in estuarine and coastal systems should take into account the short-term effects of physical phenomena on phytoplankton dynamics.

Sarrera

Ingurugiroaren aldakortasun denboralak plankton-komunitateen funtzionamenduan duen eragina nabari samarra izan arren, itsas ekologoek eskala txikiko prozesuen azterketa sakonik ez dute egin normalean (Harris,

1980). Hala ere, eredu matematikoak burutzeko garrantzi handikoak direlarik, azken urteotan zenbait egilek fitoplankton naturalaren denbora-eskala txikiko aldaketak ekosistema askotan ikertu ditu (Sinclair *et al.*, 1981; Côte & Platt, 1983; Cloern & Nichols, 1985; Litaker *et al.*, 1987; Sournia *et al.*,

1987; Madariaga & Orive, 1989; Madariaga *et al.*, 1989; 1992).

Fitoplanktonaren ezaugarri fotosintetikoak ere guttiz aldakorak dira eskala desberdinetan (Harding *et al.*, 1987), egunekoak eta urtekoak hobeto aztertu direlarik (adibidez, Harrison & Platt, 1977; Madariaga, 1990). Egun gutxiko eskalaz gertatzen den aldakortasunaz, ostera, apur bat besterik ez dakigu (Côte & Platt, 1983). Gure latitudeetan eguneroko denbora-eskala hau guttiz garrantzitsua dugu, 3-5 egunetan perturbazio-fronteak pasa daitezkeelako (Madariaga *et al.*, 1989), ondorioak kostaldean itsasoan baino nabariagoak izanik.

Ikerlan honetan, itsas fitoplanktonaren eguneroko aldakuntzak ikertu ditugu Plentziako badian. Bi astean zehar, ingurune-aldaketak eta komunitate fitoplanktonikoen fotosintesi-prozesuak arakatuz, haien fisiologi ekologia zehaztu dugu, zeren, azken batez, edozein organismoaren fisiologi egoera, bera eta bere inguru fisiko-kimikoen arteko eraginaren emaitza baita (Madariaga, 1991). Horretarako, F-I (hau da, fotosintesia/irradiantzia) kurbako parametroak kalkulatu ziren egunero. Parametro fotosintetiko hauek hiru dira: asimilazio-zenbakia (P_m^B), fotosintesi-efizientzia (α^B) eta fotomoldaera-parametroa (I_k), hain zuzen (Platt & Jassby, 1976). P_m^B fotosintesi-prozesu entzimatikoen funtzioa da, eta faktore askoren menpean dago, garrantzitsuenak tenperatura (Eppley, 1972; Levasseur *et al.*, 1990), elikagai inorganikoen erabilgarritasuna (Glover, 1980; Jiménez & Niell, 1990; Madariaga *et al.*, 1992), argi-historia (Neale & Marra, 1985), eguneko ordua (Harding *et al.*, 1981; Vandeveldel *et al.*, 1989; Erga & Skjoldal, 1990), zelulen tamaina (Malone, 1980) eta espezie-konposizioa (Dunstan, 1973) izanik. Bestalde, α^B kurba-kasierako aldapa, fotosintesi-prozesu fotokimikoen funtzioa da, eta zelularen ekoizpen kuantikoekin eta argia hartzeko gaitasunekin erlazionaturik dago (Prézelin, 1981). Hauetaz aparte, beste faktore batzuen eragina ere ikusi da, adibidez, zelula-tamainarena (Taguchi, 1981), pigmentu-konposizioarena (Han-

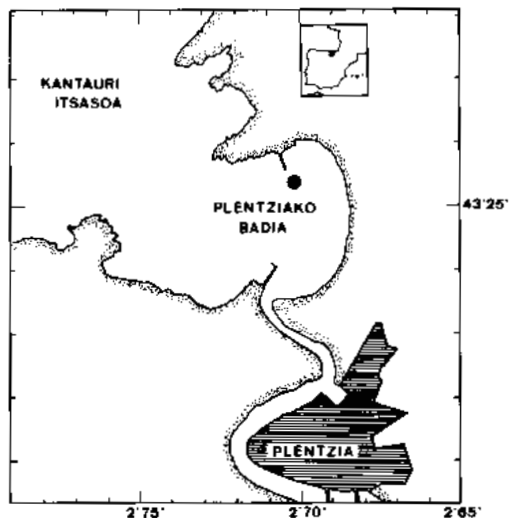
dall, 1970), argi-koalitatearena (Wallen & Geen, 1971) eta elikagaien erabilgarritasunarena (Prézelin, 1981; Jiménez & Niell, 1990; Madariaga & Joint, 1992). Azkenik, I_k ($= P_m^B/\alpha^B$) parametroak zelulak argibaldintzetara nola moldatu diren adierazten digu (Talling, 1957).

Lan honetako helburuak, Plentziako badia fitoplanktonaren ezaugarri fotosintetikoaren eguneroko aldakortasuna ezagutzea, eta aldakuntza hauei loturik dauden ingurune-prozesuak ikertzea izan dira.

Materiala eta metodoak

a) Laginketak

1988.eko abuztuaren 4a eta 20aren artean, uraren parametro fisiko-kimikoak, klorofila, ekoizpen primarioa eta fotosintesi-ezaugarriak egunero neurtu ziren Plentziako badian, oinarrituriko laginketa-puntu batean hain zuzen (1. irudia). Fitoplanktonaren espezie-konposizioa ere aztertu zen egunero (García-Soto *et al.*, 1990). Ikerketa-tokiko ezaugarriak interesgarrienak alde aurreko ikerketetan deskribaturik daude (Elosegi *et*



1. irudia. Ikerketa-are eta laginketa-tokia.

al., 1987; García-Soto *et al.*, 1990). Datu meteorologikoak Eusko Jaurlaritzako Meteorologi Zerbitzuak eman zizkigun.

Laginak 0,5 metroko sakoneran hartu ziren goizerdian (1. taula) 7 l-ko Van Dorn ize-neko botila ilunak erabiliz. Ur-tenperatura Bekman Tech 300A termisore batez neurtu zen. Era berean, ur-gazitasuna Techman indukziozko gazimetroaz zehaztu zen. Klorofila eta elikagai inorganikoak determinatzeko laginak hoztuta (< 20 °C) gorde ziren laborategira heldu arte, eta analisi guztiak berealaxe egin ziren.

F-I kurbako parametro fotosintetikoak eta ekoizpen primarioa neurtzeko lagin hirukoiztuak, 150 ml-ko plastikozko botila gardenetan NaHC¹⁴O₃ko 8 μCiez inokulatu ziren. Ekoizpen primarioarako laginak etengabeko hozketa-sistema zuen inkubadore batean bi orduz kokatu ziren; F-I kurbak determinatzeko inkubadoreak, berriz, 10 argi-iragazki desberdin zituen, 0-1500 μE m⁻² s⁻¹ko argi-gradientea lortuz. Iragazketak 100 mm Hg baino presio txikiagoan burutu ziren kasu guztietan.

b) Analisiak

Klorofila-kontzentrazioak zehazteko, 1-2 l-ko ur-laginak, 0,2 μm-ko poro-tamainako Millipore® iragazkiak erabiliz iragazi ziren. Pigmentuen erauzketa, 48 orduz, % 90 azetonako 10 ml-an, 4 °C-ra eta ilunpean egin zen. Erauzkinen margoa Shimazu UV-24 espektrofotometroaz neurtu zen, eta klorofila-kontzentrazioa, Strickland & Parsons-en ekuazioak (1972) erabiliz kalkulatu ziren. Egile hauen eskuliburuko metodoak ere erabili ziren elikagai disolbatuen kontzentrazioa determinatzeko.

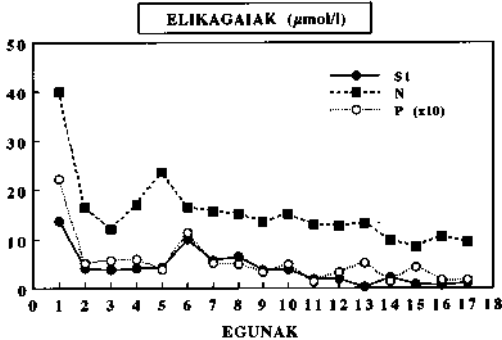
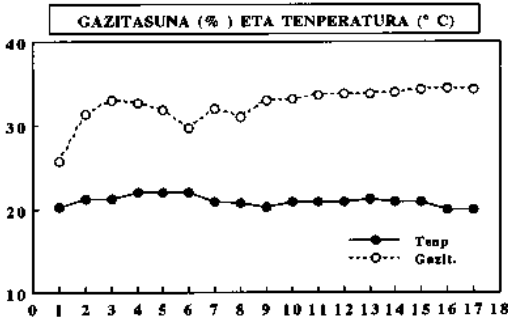
Ekoizpen primarioarako iragazkiak lehortu ondoren, Packard Tri-Carb 2000 CA izarniadura-kontadorean kontatu ziren. F-I kurbako parametroak IBM ordenadorez Jassby & Platten (1976) ekuazioari doitu zitzaizkion SAS (Statistical Analysis System) (1985) deritzon programa erabiliz. Azkenik, tratamendu estatistikoak MacIntosh ordenadoreaz egin ziren, StatView (1986) izeneko programa erabiliz.

Eguna	Data (1988. Abuztua)	Ordua (a.m.)	Sakonera (m)	Euria (mm)	Argia (eguzki-orduak)	Haizea (m s ⁻¹)
1	4	11.10	2.11	0.00	10.5	26
2	5	10.50	2.35	0.00	12.4	36
3	6	10.45	3.18	0.00	10.8	36
4	7	10.55	3.12	1.13	0.0	22
5	8	11.10	2.99	0.00	0.0	19
6	9	10.30	2.28	0.00	0.0	19
7	10	11.15	2.24	0.08	0.0	36
8	11	11.30	1.93	0.00	0.9	15
9	12	10.40	1.04	0.10	0.0	18
10	13	11.00	0.90	0.00	4.1	22
11	14	11.15	0.80	0.00	3.4	29
12	15	11.30	0.76	0.00	1.6	27
13	16	11.00	0.83	0.08	0.3	22
14	17	11.05	1.03	0.00	2.6	20
15	18	11.00	1.38	0.00	11.7	28
16	19	11.00	1.77	0.00	2.1	35
17	20	11.15	2.00	0.03	4.4	49

1. taula. Laginketa-baldintzak.

Emaitzak eta eztabaida

1. taulan ikus dezakegunez, ikerketa-denboraldian zehar eguraldi egonkorra genuen. Uraren ezaugarri fisiko-kimikoak (2. irudia), ordea, aldez aurretik gertaturiko euri-pultsu baten eragipena adierazten digute (2. taula).



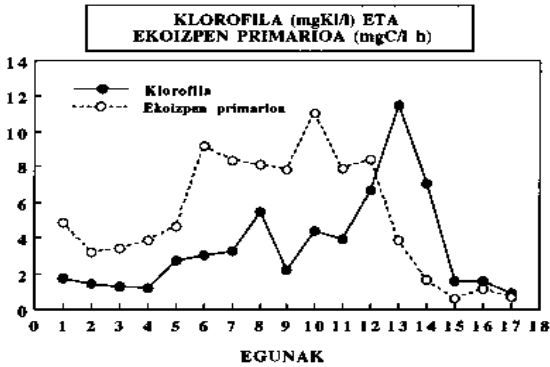
2. irudia. Parametro fisiko-kimikoen aldakortasun denborala.

Euria	—					
Temp.	-.241	—				
Gazit.	-.830**	-.086	—			
N	.852**	.052	-.899**	—		
P	.862**	.053	-.921**	.861**	—	
Si	.717**	.105	-.967**	.826**	.889**	—
Euria		Temp.	Gazit.	N	P	Si

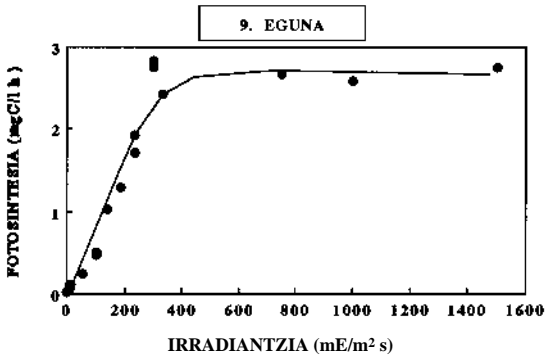
2. taula. 48 ordu lehenagoko euria (mm) eta parametro fisiko-kimikoen arteko korrelazio-matrizea (adierazpen estatistikoak: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; $n = 17$). Temp.- temperatura ($^{\circ}\text{C}$); Gazit.- gazitasuna (%); N- nitrogenoa (nitrotoa+nitrito+amonioa, $\mu\text{mol l}^{-1}$); P- fosfatoa ($\mu\text{mol l}^{-1}$); Si- silikatoa ($\mu\text{mol l}^{-1}$).

Baldintza haietan, *Skeletonema costatum* izeneko espezie fitoplanktonikoaren loraketa izan zen (García-Soto *et al.*, 1990), ekoizpen primarioko balio altuak mantendurik (3. irudia). Antzaenez, fenomeno hau oso normala izaten da, bai euskal kostaldean (Orive, 1988), eta bai beste itsasertz-ekosistemetan (Marshall, 1982; Sakshaug & Olsen, 1986). Aste-bete igaro ondoren, elikagai inorganikoen kontzentrazioak murriztu zirela eta —silikatoa batez ere—, fitoplankton-loraketa desagertu egin zen. Beste ikertzaileek ere, horrelako efektua aurkitu dute *Skeletonema costatum* espeziarekin (Bruno *et al.*, 1980; Laanbroek *et al.*, 1985).

Fotosintesia/Irradiantza kurbetako (4. irudia) parametroak 3. taulan erakusten dira. Orokorki, α^{B} ko balioak txikiak dira eta I_{k} parametrokoak, berriz, altuak. Horrek, fitoplanktona udako baldintzetara moldatuta dagoela esan nahi du (Harding *et al.*, 1987). Parametro hauen aldakortasun denborala handia zen, 10 biderko aldaketak gertaturik. Eskala txikiko aldakortasun honen jatorria jakiteko, parametro fotosintetiko eta ingurune-faktoreen arteko korrelazio-analisia burutu genuen (4. taula). Bai P_{m}^{B} ko eta bai α^{B} ko aldakuntzak, fitoplankton-komunitatearen egiturari loturik agertu ziren. Beraz, ikerketa-denboraldian zehar, parametro fotosintetikoaren aldakortasuna azaltzeko faktorerik garrantzitsuen *Skeletonema costatum* deritzon espeziearen loraketa izan zen. Horrez gain, P_{m}^{B} kasuan, elikagai disolbatuen erabilgarritasunaren efektua nabaria zen; α^{B} eta I_{k}



3. irudia. Fitoplankton-ezaugarrien aldakortasun denborala.



4. irudia. Fotosintesia/irradiantzia kurbako adibidea.

Eguna	P_m^B	α^B	I_k
1	3.284	0.0067	490.24
2	2.361	0.0050	476.01
3	3.245	0.0054	606.54
4	3.556	0.0068	525.26
5	1.600	0.0037	432.43
6	3.461	0.0084	411.53
7	2.508	0.0062	407.14
8	1.592	0.0038	424.53
9	2.777	0.0088	368.91
10	4.663	0.0130	315.96
11	1.485	0.0031	483.40
12	1.239	0.0019	669.01
13	0.394	0.0010	349.39
14	0.435	0.0007	648.77
15	0.843	0.0016	511.84
16	1.089	0.0021	520.06
17	1.590	0.0031	512.74

3. taula. Parametro fotosintetikoan aldakuntza denborala.

$P_m^B = \text{mgC (mgKl)}^{-1} \text{ h}^{-1}$;

$\alpha^B = [\text{mgC (mgKl)}^{-1} \text{ h}^{-1}] / \mu\text{Em}^{-2} \text{ s}^{-1}$;

$I_k = \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

P_m^B	—					
α^B	-.942**	—				
I_k	-.393	-.605	—			
Argia	-.278	-.471*	.720**	—		
Gazit.	-.471*	-.391	.232	.273	—	
Fitop.	.576*	.586*	-.342	.425	-.462	—
	P_m^B	α^B	I_k	Argia	Gazit.	Fitop.

4. taula. 24 ordu lehenagoko argia (eguzki-orduak), gazitasuna (%), fitoplanktona (zel l^{-1}) eta parametro fotosintetikoan (P_m^B , α^B , eta I_k) arteko korrelazio-matrizea (adierazpen estatistikoak: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; $n = 17$)

kasuan, ostera, aldeztatik 24 orduz jasotako argiak azaltzen ditu parametro hauen bariantza proportzio altuak. Gure emaitzek, Côté & Platt-enak (1983) egiaztatzen dituzte, baina ikerlan honetan tenperaturaren efekturik ez da ikusi.

Argi eta garbi ikusten denez, denborataleko txikiko prozesu fisikoek fitoplanktonaren dinamiketan duten eragina konstante hartu behar da fitoplankton-ekoizpen primarioaren eredu matematikoak aurreratzeko.

Bibliografía

- (1) BRUNO, S.F., STAKER, R.D. & SHARMA, G.M.; *Dynamics of phytoplankton productivity in the Peconia Bay estuary, Long Island*; Est. Coast. Mar. Sci.; 10, 247-263, (1980).
- (2) CLOERN, J.E. & NICHOLS, F.H.; *Time scales and mechanisms of estuarine variability, a synthesis from studies of San Francisco Bay*; Hydrobiol.; 129, 229-237, (1985).
- (3) CÔTE, B. & PLATT, T.; *Day-to-day variations in the spring-summer photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton*; Limnol. Oceanogr.; 28, 320-344, (1983).
- (4) DUNSTAN, W.M.; *A comparison of the photosynthesis-light intensity relationship in phylogenetically different microalgae*; J. Exp. Mar. Biol. Ecol.; 13, 181-187, (1973).
- (5) ELOSEGUI, A., POZO, J. & ORIVE, E.; *Plankton pulses in a temperate coastal embayment during the winter-spring transition*; Est. Coast. Shelf Sci.; 24, 751-764, (1987).
- (6) EPPLEY, R.W.; *Temperature and phytoplankton growth in the sea*; Fish. Bull.; 70, 1063-1084, (1972).
- (7) ERGA, S.R. & SKJOLDAL, H.R.; *Diel variations in photosynthetic activity of summer phytoplankton in Lindåspollene, western Norway*; Mar. Ecol. Prog. Ser.; 65, 73-85, (1990).
- (8) GARCIA-SOTO, C., MADARIAGA, I. de, VILLATE, F. & ORIVE, E.; *Day-to-day variability in the plankton community of a coastal shallow embayment in response to changes in river runoff and water turbulence*; Est. Coast. Shelf Sci.; 31, 217-229, (1990).
- (9) GLOVER, H.E.; *Assimilation numbers in cultures of marine phytoplankton*; J. Plankton Res.; 2, 69-79, (1980).
- (10) HANDALL, P.; *The photosynthetic apparatus of microalgae and its adaptation to environmental factors*; in "Photobiology of micro-organisms" (P. Handall, ed.); Wiley-Interscience, (1970).
- (11) HARDING, L.W., Jr., FISHER, T.R., Jr. & TYLER, M.A.; *Adaptive responses of photosynthesis in phytoplankton: specificity to time-scale of change in light*; Biol. Oceanogr.; 4, 403-437, (1987).
- (12) HARRIS, G.P.; *Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology. Mechanisms, methods, models and management*; Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37, 877-900, (1980).
- (13) HARRISON, W.G. & PLATT, T.; *Variations in the assimilation number of coastal marine phytoplankton: effects of environmental covariates*; J. Plankton Res.; 2, 249-260, (1980).
- (14) JIMENEZ, C. & NIELL F.X.; *Influence of temperature and nitrogen concentration on photosynthesis of Dunaliella viridis Teodoresco*; J. Appl. Phycol.; 2, 309-317, (1990).
- (15) LAANBROEK, H.J., VERPLANKE, J.C., VISSCHER, P.R.M. & YUYST, R.; *Distribution of phytoto- and bacterioplankton growth and biomass parameters, dissolved inorganic nutrients and free amino acids during a spring bloom in the Oosterhelde basin, the Netherlands*; Mar. Ecol. Prog. Ser.; 25, 1-11, (1985).
- (16) LEVASSEUR, M.E., MORISSETTE, J.-C., POPOVIC, R. & HARRISON, P.J.; *Effects of long term exposure to low temperature on the photosynthetic apparatus of Dunaliella tertiolecta (Chlorophyceae)*; J. Phycol.; 26, 479-484, (1990).
- (17) LITAKER, W., DUKE, C.S., KENNEY, B.E. & RAMUS, J.; *Short-term environmental variability and phytoplankton abundance in a shallow tidal estuary. I. Winter and summer*; Mar. Biol.; 96, 115-121, (1987).

- (18) MADARIAGA, I. de & ORIVE, E.; *Spatio-temporal variations of size-fractionated primary production in the Gernika estuary*; J. Exp. Mar. Biol. Ecol.; 127, 273-288, (1989).
- (19) MADARIAGA, I. de, ORIVE, E. & BOALCH, G.T.; *Primary production in the Gernika estuary during a summer bloom of the dinoflagellate Peridinium quinquecorne*; Abé; Bot. Mar.; 32, 159-165, (1989).
- (20) MADARIAGA, I. de; *Fitoplankton-populazio naturalaren fisiologi ekologia*; Elhuyar, 16, 40-46, (1990).
- (21) MADARIAGA, I. de; *Fitoplanktonaren pigmentu-konposaketa eta fisiologi egoeraren arteko erlazio esperimentalak*; Elhuyar, 17, 1-6, (1991).
- (22) MADARIAGA, I. de & JOINT, I.; *A comparative study of phytoplankton physiological indicators*; J. Exp. Mar. Biol. Ecol.; (argitaratzeko), (1992).
- (23) MADARIAGA, I. de, GONZALEZ-AZPIRI, L., VILLATE, F. & ORIVE, E.; *Plankton responses to hydrological changes induced by freshets in a shallow mesotidal estuary*; Est. Coast. Shelf Sci.; (argitaratzeko), (1992).
- (24) MALONE, T.C.; *Algal size*; in "Physiological ecology of phytoplankton" (I. Morris, ed.); Blackwell; 433-464, (1980).
- (25) MARSHALL, H.G.; *The composition of phytoplankton within the Chesapeake Bay plume and adjacent waters of the Virginia Coast, USA*; Est. Coast. Shelf Sci.; 15, 29-42, (1982).
- (26) NEALE, P.J. & MARRA, J.; *Short-term variation of P_{max} under natural irradiance conditions: a model and its implications*; Mar. Ecol. Prog. Ser.; 26, 113-124, (1985).
- (27) ORIVE, E.; *Differences in phytoplankton composition between the Abra of Bilbao and the adjacent shelf waters*; Hydrobiol.; 182, 121-135, (1988).
- (28) PLATT, T. & JASSBY, A.D.; *The relationship between photosynthesis and light for natural assemblages of coastal marine phytoplankton*; J. Phycol.; 12, 421-430, (1976).
- (29) PREZELIN, B.B.; *Light reactions of photosynthesis*; Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.; 210: 1-43, (1981).
- (30) SAKSHAUG, E. & OLSEN, Y.; *Nutrient status of phytoplankton blooms in Norwegian waters and algal strategies for nutrient competition*; Can. J. Fish. Aquat. Sci.; 43: 389-396, (1986).
- (31) SAS Institute; *SAS user's guide: statistics*; SAS Institute, Cary, N.C., Version 5 Edicion. U.S.A., (1985).
- (32) SINCLAIR, M., SUBBA RAO, D.V. & COUTURE, R.; *Phytoplankton temporal distributions in estuaries*; Oceanol. Acta; 4, 239-246, (1981).
- (33) SOURNIA, A., BIRRIEN, J.L., DOUVILLE, J.L., KLEIR, B. & VIOLLIER, M.; *A daily study of the diatom spring bloom at Roscoff (France) in 1985. I. The spring bloom within the annual cycle*; Est. Coast. Shelf Sci.; 25, 355-367, (1987).
- (34) STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R.; *A practical handbook of seawater analysis. 2. argit.*; Bull. Fish. Res. Bd. Can.; 167, 1-311, (1972).
- (35) TAGUCHI, S.; *Seasonal studies of the dinoflagellate Ceratium longipes (Bailey) Gran in the Bedford Basin, Canada*; J. Exp. Mar. Biol. Ecol.; 55, 115-131, (1981).
- (36) TALLING, J.F.; *Photosynthetic characteristics of some freshwater plankton diatoms in relation to underwater radiation*; New Phytol.; 56, 29-50, (1957).
- (37) WALLEN, D.G. & GEEN, G.H.; *Light quality in relation to growth, photosynthetic rates and carbon metabolism in two species of marine planktonic algae*; Mar. Biol.; 10, 34-43, (1971).