

COMUNIDADES DE DIATOMEAS EN LOCALIDADES ALTAMENTE CONTAMINADAS DEL RIO TER (CATALUÑA, NE ESPAÑA)

Sergi Sabater & Francesc Sabater

Departament d'Ecologia, Facultat de Biologia, Avda. Diagonal 645
08028 Barcelona.

Palabras clave: Contamination, diatoms river, succession

ABSTRACT

DIATOMS COMMUNITIES IN EXTREMELY CONTAMINATED SITES OF THE TER RIVER (CATALONIA, NE. SPAIN)

In this study, the ability of diatoms as indicators of water quality is used. Two contaminated sites of the river Ter, which receives great influences of agricultural, industrial and urban wastes, have been studied over a period of one year.

The diversity of the diatom community is lower the corresponding values obtained in non polluted places. This community is constituted, basically, by *Nitzschia palea*, *N. gandersheimiensis*, and other species in lesser quantity as *Navicula accommoda*, *N. goppertiana*, *N. pelliculosa* and *Gomphonema parvulum*.

The differences between the two sites have been studied, along with the variations within their communities. There is a succession in the above species, corresponding to the low or high organic charge of the water. Extreme pollution conditions have resulted in the development of communities mainly formed by *N. palea* and *N. gandersheimiensis*. The other species can substitute the previous ones when the organic charge of the water drops. The reverse situation is also possible: the former replacing the latter, if pollution increases again.

INTRODUCCION

Las algas pobladoras de los ríos –y especialmente las diatomeas– tienen un probado valor como indicadores de la calidad de las aguas. La utilización de estos organismos como tales es muy extendida, sobre todo en lo que se refiere a los ríos: Archibald 1972, Schoeman 1976, Coste 1976, Descy 1976, Lange-Bertalot 1979, Johansson 1982. Su presencia y su abundancia relativa van asociadas a unas condiciones características de las aguas (Dam, 1982).

Se han realizado distintos trabajos sobre el río Ter, contemplando aspectos tales como la caracterización físico-química de las aguas (Sabater & Armengol 1985), la fauna macroinvertebrada (Puig *et al* 1985), macrófitos (Peñuelas & Sabater 1985) y diatomeas (Sabater & Sabater 1986).

Este trabajo es una contribución al conocimiento de la autoecología de las especies de diatomeas que se desarrollan en puntos fuertemente contaminados del río Ter. Complementa así la descripción de la flora de diatomeas de este río.

MATERIAL Y METODOS

Los puntos estudiados corresponden a las localidades de Roda de Ter (punto 22) y Flaçá (punto 46), ambos situados en la provincia de Girona (figura 1). Su muestreo fue simultáneo con el de otros puntos del tramo principal del río (Sabater & Sabater 1984), y se realizó mensualmente durante un año (mayo 1983-abril 1984). Simultáneamente a las diatomeas se midieron los parámetros físico-químicos más importantes, y se recogieron muestras de aguas para su análisis en el laboratorio (Sabater & Armengol 1985).

El muestreo de las diatomeas se realizó semicuantitativamente (Stockner & Armstrong 1971), con el fin de posibilitar la comparación estadística de las muestras. Las muestras se fijaban con formaldehído al 4%, y se transportaban al laboratorio. Allí, se eliminaba la materia orgánica de las diatomeas siguiendo el método de Hustedt (1930). Los frústulos limpios se montaban en Naphrax (i.r. de 1.74). Mediante la observación microscópica se determinaban las especies presentes en la muestra, y la composición relativa de

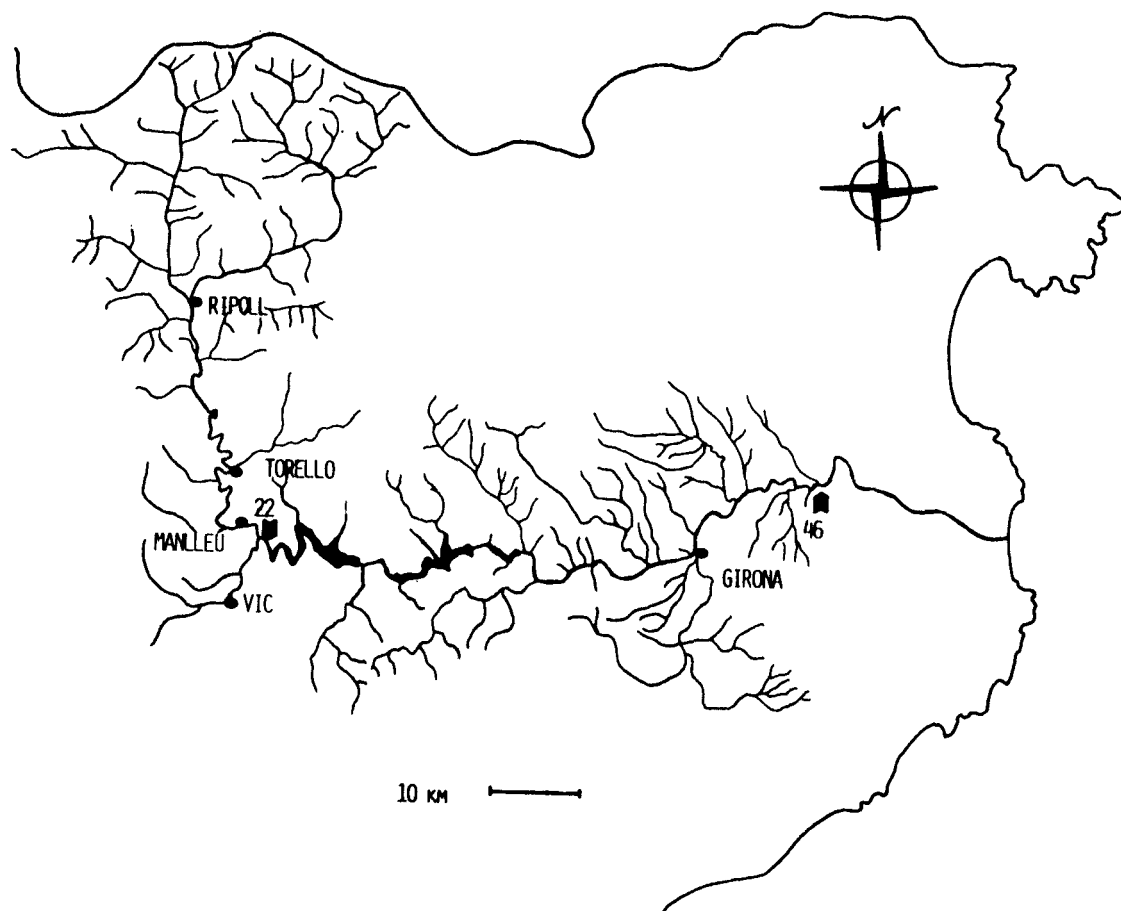


Figura 1.- Localización de los puntos estudiados en el río. Se indican las poblaciones principales de más de 10.000 habitantes. Situation on the sites studied in the river. The situation of the towns with more than 10,000 inhabitants is given in the map.

cada una de ellas; para ello, se contaba un mínimo de 250 frústulos.

A partir de los contajes se determinaban las diversidades de cada muestra, siguiendo la fórmula de Shannon & Weaver, 1957. Con los porcentajes de las especies más abundantes en los dos puntos (9 especies) se realizó un análisis de correspondencias a fin de hallar la relación de las especies con las muestras (estaciones y campañas) (Benzecri *et al* 1976).

RESULTADOS

Las poblaciones de diatomeas que se desarrollan en el tramo medio del río Ter están constituidas especialmente por especies de los géneros *Navicula* (*gregaria*, *cryptocephala* v. *exilis*, *seminulum*, *subminuscula*, *tripunctata*, *pupula*, *phyllepta*), *Nitzschia* (*palea*, *romana*, *amphibia*, *frustulum*), *Fragilaria* (*construens*, *intermedia*, *pinnata*) y otras como *Melosira*

varians, *Diatoma elongatum* y *Gomphonema olivaceum* (Sabater & Sabater 1986). En las cercanías de la desembocadura se encuentran especies planctónicas, especialmente *Cyclotella menrghiniana* y *Stephanodiscus astrea*. Las poblaciones varían en su composición y distribución, pero tiene en común una elevada diversidad (valores de hasta 4 bits) y estabilidad.

Estas poblaciones se muestran sensibles a las variaciones locales de las condiciones químicas de las aguas, que se manifiestan en cambios de la composición relativa de las muestras. Así, en los puntos 22 y 46 hay una sustitución de las comunidades de diatomeas que se desarrollaban hasta entonces. Hay un notable descenso de la diversidad, más acentuado en el punto 22 (figura 2), y dominan unas pocas especies. *Nitzschia gandersheimiensis* y *N. palea* son las más abundantes; en menor proporción aparecen *Gomphonema parvulum*, *Navicula goppertiana*, *N. pelliculosa* y *N. accomoda*. Todas ellas son especies consideradas como altamente tolerantes a la polución (Lange-

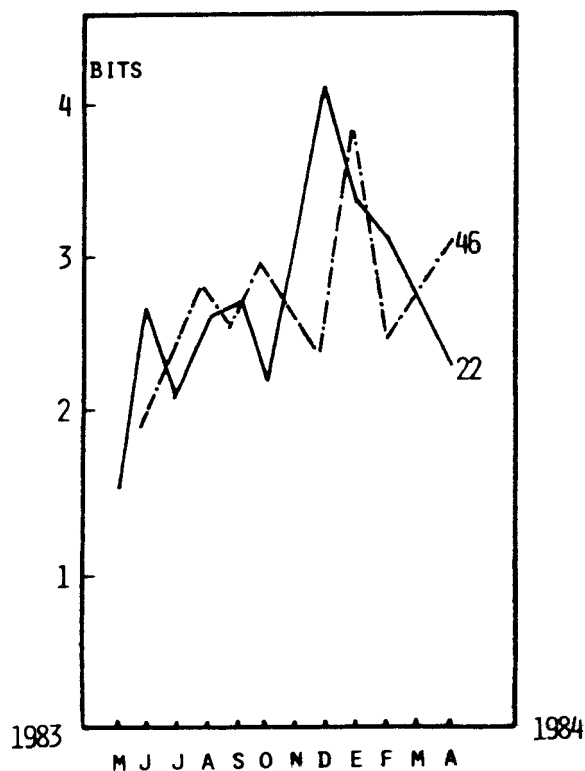


Figura 2.- Evolución de los valores de las diversidades (en bits) en los puntos 22 y 46.

Diversity values (in bits) in sites 22 and 46 from May 1983 to April 1984.

Bertalot 1979; Lange-Bertalot & Simonsen 1978), con una supuesta capacidad heterotrófica (Cholnoky 1968).

Los puntos 22 y 46 son dos de los más contaminados en toda la cuenca del Ter. Ambas localidades reciben gran cantidad de vertidos contaminantes, principalmente domésticos e industriales (industrias del curtido, papeleras). En la tabla 1 aparecen los valores de los parámetros físico-químicos medidos durante un año (1983-1984). Son muy distintos a los que se observan en el resto del río (Sabater & Armengol 1985).

Las diferencias existentes entre los puntos 22 y 46, en cuanto a sus características físico-químicas, están determinadas, posiblemente, por su situación en el eje del río. Cerca del punto 22 desemboca el río Gurri, que recoge gran cantidad de vertidos industriales de la ciudad de Vic. Las aguas de este punto se caracterizan por una elevada mineralización; sus valores de conductividad oscilan en torno a los $500 \mu\text{S}$, y se acercan a los $1.000 \mu\text{S}$ durante el estiaje. Las concentraciones de cloruros y de sodio son también altas

(200 mg/Cl/l y 115 mg Na/l durante el verano). El nitrógeno se encuentra principalmente en forma de nitratos y de amonio; los valores de éste último son máximos durante el verano, llegando a 500 pgr-at N/l . En cambio, durante las avenidas, los nitratos son la forma más abundante de nitrógeno, con valores de hasta 100 pgr-at N/l . Los fosfatos, también tienen siempre valores bastante elevados, de más de $40 \mu\text{gr-at P/l}$.

El punto 46, aguas abajo de los embalses del Ter, está sometido a la influencia del cinturón industrial de Girona. La mineralización de sus aguas es más elevada que en el punto 22, pero las concentraciones de cloruros y de sodio son inferiores. El amonio tiene valores importantes, pero no suelen pasar de $130 \mu\text{gr-at N/l}$. El contenido en fosfatos es también más moderado.

Los parámetros descritos varían desigualmente a lo largo del tiempo en los dos puntos. El papel regulador de los embalses afecta directamente al punto 46, pero no al 22. Después de las avenidas, en el punto 22, desciende la conductividad -se llega a valores de $450 \mu\text{S}$, al igual que los cloruros (valores de 15 mg/l) y el amonio (valores de 80 pgr-at N/l). No obstante el punto 46 experimenta un empeoramiento global de la calidad de sus aguas; los valores de conductividad llegan a extremos de $900 \mu\text{S}$, los fosfatos a 18 pgr-at P/l , el amonio a 90 pgr-at N/l , y los cloruros a 50 mg/l .

DISCUSION

Salvando las diferencias físicas entre una y otra estación -cambio de pendiente y aparición de remansos que determinan la preponderancia de especies planctónicas en el punto 46 (*Cyclotella meneghiniana*, *Stephanodiscus astrea*...) frente a otras especies-, ambos puntos son semejantes entre sí por lo que se refiere a la composición de la flora diatómica. Sin embargo, las vicisitudes que experimentaron ambos puntos en el tiempo fueron distintas, y comportaron diferencias importantes en la composición de las diatomeas. Con el fin de analizar esas diferencias se ha recurrido a un análisis de correspondencias, que tiende a maximizar las relaciones de las especies con los distintos casos; es decir, con cada uno de los puntos en el tiempo. El espacio definido por los dos primeros ejes, resume un 55.6% de la varianza explicada; un 38,9% el primer eje y un 16.7% el segundo. Las especies que participaron en el análisis fueron las más abundantes (un 60-90% del total de la muestra) en una u otra estación: *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria construens*, v. *venter*, *Gomphonema purvulum*, *Navicula accomoda*, *Navicula goppertiana*, *Navicula pelliculosa*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia gandersheimiensis* y *Stephanodiscus astrea*.

Est.	Cond. (μ S)	Alk. (meq/l)	pH (mg/l)	Oxígeno (μ g-at/l)	Nitrat. (μ g-at/l)	Nitrit. (μ g-at/l)	Amonio (μ g-at/l)	Fosfato (μ g-at/l)
MAY 22	600.000	3.010	8.200	6.520	3.320	13.720	232.130	20.690
MAY 46	300.000	3.300	7.930	8.160	2.680	14.180	19.390	9.860
JUN 22	600.000	2.960	7.930	7.850	5.550	31.820	235.610	16.130
JUN 46	850.000	4.110	7.400	5.560	920	1.630	96.740	16.000
JUL 22	485.000	2.590	8.100	6.250	31.910	14.720	130.300	15.200
JUL 46	870.000	410	7.860	5.420	17.780	6.430	123.520	14.780
AGO 22	950.000	3.400	7.280	2.890	960	11.560	429.280	36.440
AGO 46	870.000	4.600	7.360	6.680	5.480	5.400	54.610	4.980
SEP 22	710.000	3.340	7.680	5.300	30.370	9.470	178.130	17.330
SEP 46	925.000	4.080	7.530	6.510	18.460	8.340	56.760	11.680
OCT 22	1.020.000	3.610	7.680	5.400	400	1.320	446.230	33.230
OCT 46	1.000.000	4.110	7.460	4.400	740	4.910	110.300	15.980
NOV 46	390.000	2.170	7.030	-	121.410	4.400	-	6.830
DIC 22	540.000	3.060	8.100	-	5.340	13.750	80.710	21.920
DIC 46	910.000	3.970	7.800	-	133.160	8.150	47.140	10.199
ENE 22	404.500	2.930	8.320	10.100	44.300	33.220	121.780	22.010
ENE 46	654.600	3.810	7.520	8.000	45.800	24.300	59.200	19.660
FEB 22	660.000	3.470	8.420	8.700	178.100	9.800	3.570	45.580
FEB 46	600.000	3.680	7.500	7.300	4.580	1.500	57.500	16.370
MAR 22	460.000	3.940	8.460	11.000	133.460	17.640	44.640	13.060
MAR 46	700.000	3.600	7.790	8.300	54.130	7.440	34.280	18.640
ABR 22	510.000	2.500	8.310	8.300	32.820	3.840	100.010	10.930
ABR 46	900.000	4.100	7.700	6.300	25.310	9.540	96.420	16.240

Est.	Silicato (μ g-at/l)	Sulfato (mg-i3n/l)	Cloruro (mg/l)	Calcio (mg/l)	Magnesio (mg/l)	Sodio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Caudal (m ³ /s)
MAY 22	99.900	800	108.000	51.840	9.219	82.338	7.518	6.870
MAY 46	95.330	1.260	33.600	70.226	9.827	37.900	3.846	8.350
JUN 22	101.930	560	69.000	41.458	6.896	61.641	4.558	9.450
JUN 46	100.060	2.130	65.000	95.766	12.418	56.805	4.795	9.160
JUL 22	117.450	750	39.400	24.219	4.483	27.278	1.669	5.620
JUL 46	80.490	1.720	44.600	100.830	11.683	4.703	9.423	2.400
AGO 22	108.760	640	116.200	51.472	9.118	82.808	8.070	7.200
AGO 46	136.530	1.690	53.200	105.302	13.734	49.266	9.520	16.270
SEP 22	109.520	680	72.600	41.579	7.035	43.581	4.268	4.340
SEP 46	102.060	1.990	61.600	86.325	11.921	57.693	12.685	24.320
OCT 22	96.910	740	214.400	60.996	9.418	118.820	9.574	4.310
OCT 46	137.050	920	100.200	61.835	7.625	53.831	6.080	18.160
NOV 46	187.580	1.030	16.400					30.800
DIC 22	120.310	1.030	13.800					14.780
DIC 46	139.500	1.750	32.000					34.270
ENE 22	137.800	1.060	26.400					7.250
ENE 46	141.360	2.500	36.400					19.870
FEB 22	89.520	1.640	106.400					4.810
FEB 46	125.000	2.600	13.200					15.320
MAR 22	88.480	990	21.600					20.920
MAR 46	173.000	4.250	39.200					20.850
ABR 22	68.130	980	55.600					20.610
ABR 46	136.480	4.300	55.600					13.740

Tabla 1.- Valores de los parámetros físico-químicos estudiados en los puntos 22 y 46 del río Ter desde mayo de 1983 a abril de 1984.

Values of the main physico-chemical parameters of the water in sites 22 and 46 from May 1983 to April 1984.

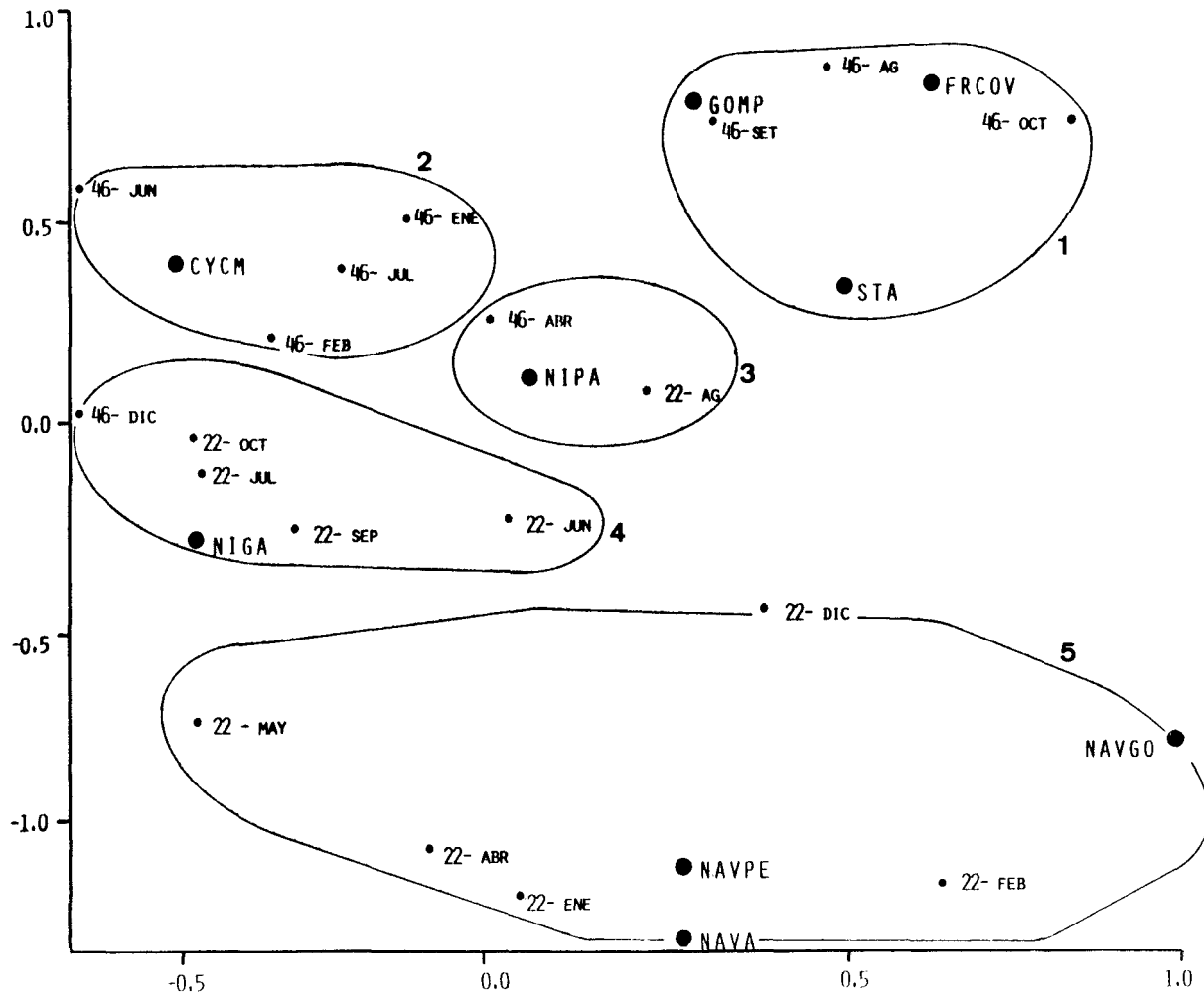


Figura 3.- Plano formado por los dos primeros ejes del análisis de correspondencias. Los círculos menores corresponden a las localidades y meses de muestreo. Los círculos mayores corresponden a las especies participantes en el análisis: CYCM = *Cyclotella meneghiniana*; GOMP = *Gomphonema parvulum*; FRCOV = *Fragilaria construens* v. *venter*; STA = *Stephanodiscus astrea*; NIPA = *Nitzschia palea*; NIGA = *Nitzschia gandersheimi*; NAVGO = *Navicula goppertiana*; NAVPE = *N. pelliculosa*; NAVA = *N. accomoda*.

Space formed by the two first axes of a reciprocal averaging analysis. The small spots represent the site and the date of the sample; the great ones correspond to the species involved in the analysis: CYCM = *Cyclotella meneghiniana*; GOMP = *Gomphonema parvulum*; FRCOV = *Fragilaria construens* v. *venter*; STA = *Stephanodiscus astrea*; NIPA = *Nitzschia palea*; NIGA = *Nitzschia gandersheimi*; NAVGO = *Navicula goppertiana*; NAVPE = *N. pelliculosa*; NAVA = *N. accomoda*.

En el espacio definido por los dos primeros ejes del análisis de correspondencias aparecen, en general, segregadas las muestras del punto 46 de las del punto 22 (fig. 3). Se observa cómo las especies muy características de uno u otro punto se agrupan con sus muestras respectivas (grupo V, punto 22; grupos I y II, punto 46). Otras, sin embargo, se distribuyen tanto en el 22 como en el 46, según las variaciones temporales

en el quimismo del agua (grupos III y IV). Dos especies, *Nitzschia gandersheimi* y *N. palea* están próximas a muestras que tienen en común una carga orgánica importante.

Como se observa por la disposición de las muestras en el plano, la evolución de las comunidades sigue distintos caminos en uno u otro punto. En la estación 22, desde finales de primavera a finales de otoño,

Nitzschia gandersheimiensis y *N. palea* representaban un 70 y un 90% del total de individuos. El resto se repartía principalmente entre *Navicula accomoda*, *N. pelliculosa*, *Nitzschia pusilla* y *N. umbonata*, todas ellas en pequeñas cantidades. Se trataba de una comunidad especialmente tolerante a valores elevados de cloruros, amonio y, en algunos momentos, hasta de anoxia. Ha sido descrita en condiciones parecidas, de alto contenido de materia orgánica, por Lange-Bertalot (1979), que las considera pertenecientes al grupo de especies más tolerantes a dichas condiciones.

La avenida que se registró en el río a causa de las lluvias otoñales comportó, durante el invierno, una dilución de las cargas polucionantes en el punto 22. Este hecho se correspondió con un descenso en número de las dos especies de *Nitzschia* antes citadas. La diversidad experimentó un aumento (fig. 2), y *Navicula accomoda*, *N. goppertiana* y *N. pelliculosa* desplazaron a las anteriores (fig. 3, grupo IV). *Navicula accomoda* se ha descrito en aguas altamente contaminadas pero con tendencia a la autodepuración (Schoeman, 1976). De hecho esta comunidad más diversa representa un primer paso en el retorno hacia la comunidad existente ya en el tramo del río, antes del punto 22 (Sabater & Sabater 1986). El retorno fue, sin embargo, frustrado, ya que se reinstauraron las condiciones de fuerte polución, y *Nitzschia gandersheimiensis* y *Nitzschia palea*, incrementaron de nuevo en número (abril 1984).

En el punto 46, durante el verano, *Cyclotella meneghiniana* fue muy abundante (fig. 3 grupo II), llegando a abundancias de hasta el 80%. Esta especie planctónica estuvo favorecida a la vez por las condiciones remansadas del río en aquella época y por la abundancia de materia orgánica. Lylis & Trainor (1973), describen a *C. meneghiniana* como una especie capaz de crecer heterotróficamente, sin luz y con glucosa como sustrato; sin embargo, mientras que algunas especies pueden pasar directamente de condiciones autotróficas a condiciones heterótroficas, como sucede en *Nitzschia palea*, *C. meneghiniana* precisa una fase de adaptación de uno a dos días. Ello no es obstáculo para el desarrollo de esta diatomea en condiciones de abundancia de materia orgánica (Cholnoky, 1968; Schoeman, 1972).

Las condiciones favorables a las especies planctónicas terminaron pronto. A finales de otoño (fig. 3, grupo I) *Gomphonema parvulum*, *Fragilaria construens* y *Nitzschia palea* eran muy abundantes. *G. parvulum* y *N. palea* han sido descritas como especies tolerantes a la polución (Lange-Bertalot, 1979). Progresivamente, *Nitzschia palea* y *N. gandersheimiensis* van desplazando a *Gomphonema parvulum*, (fig. 3, grupo III). La progresiva instauración de estas dos especies responde a un incremento relativo notable en cloru-

ros y fosfatos a lo largo del tiempo (Sabater & Armengol, 1985) y que representa un empeoramiento de las condiciones en el punto 46.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo dentro de un programa financiado por la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (numero 478/81).

BIBLIOGRAFIA

- Archibald, R.E.M., 1972.** Diversity in some South African diatom associations and its relation to water quality.
- Benzecri, J.P. et al 1976.** *L'analyse des données. II. L'analyse des correspondances.* París: 616 págs.
- Cholnoky, B.J., 1968.** *Die Okologie der diatomen in Binnengewässern*, J. Cramer, Lehre, 699 págs.
- Coste, M., 1976.** Contribution a l'écologie des diatomées benthiques et periphytiques de la Seine: distribution longitudinales et influence des pollutions. *Soc. Hydrotechnique d'Alsace XIV Journ. de l'Hydraulique* 3, 9: 1-7
- Dam, Van H., 1982.** On the use of measures of structure and diversity in applied diatom ecology. *Nova Hedwigia* 73: 97-115.
- Descy, J.P., 1976.** La végétation algale benthique de la Somme (France) et ses relations avec la qualité des eaux. *Mem. Soc. roy. Bot. Belg.* 7: 101-128.
- Hustedt, F. 1930.** *Bacillariophyta (Diatomeae).* Die Susswasserflora Mitteleuropas 10: 466 págs.
- Johansson, C., 1982.** Attached algal vegetation in running waters of Jamtland, Sweden. *Acta Phytogeografica Suecica* 71: 1-84.
- Lange-Bertalot, H., 1979.** Pollution and tolerance of diatoms as a criterion of water quality estimation. *Nova Hedwigia* 64: 285-304.
- Lange-Bertalot, H. & Simonsen, R., 1978.** A taxonomic revision of the *Nitzschia lanceolata* Grunow. 2. European and other related extra European freshwater and brackish water taxa. *Bacillaria* 1: 11-111.
- Lylis, J.C. & Trainor, F.R., 1973.** The heterotrophic capabilities of *Cyclotella meneghiniana*. *J. phycol.* 9: 365-369.
- Peñuelas, J. & Sabater, F. (en prensa).** Distribution of macrophytes in relation to environmental factors in the Ter river, NE Spain. Congress of Bryocology, Budapest 1985.
- Puig, A.; González, G. & Recasens, L. (en prensa).** Las comunidades de macroinvertebrados del río Ter. III Congreso de Limnología, León 1985.
- Sabater, F. & Armengol, J. 1986.** Chemical characterization of the Ter river. *Limnetica*. 2:75-84.
- Sabater, S. & Sabater, F. 1986.** Diatom assemblages in the river Ter (Catalonia, NE Spain). *Archiv für Hydrobiologie* (in submitted).

Schoeman, F.R. 1972. A further contribution to the diatom flora of sewage enriched waters in Southern Africa. *Phycologia* 11,3-4: 239-245.

Schoeman, F.R. 1976. Diatom indicators groups in the assessment of water quality in the Juskei-Cocodrile river system (Transvaal, Republic of South Africa). *J. Limnol. Soc. Sth.*

Africa 2, 1: 21-24.

Shannon, C.E. & Weaver, W. 1963. *The mathematical theory of communication.* University of Illinois Press.

Stockner, J.G. & Armstrong, F.A.J. 1971. Periphyton of the experimental Lakes Area, northwestern Ontario. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 28: 215-229.