

## FITOPLANCTON DE UN RÍO DEL NOROESTE ARGENTINO CONTAMINADO POR EFLUENTES AZUCAREROS Y CLOACALES

V. MIRANDE <sup>1,2,3</sup> y B. C. TRACANNA <sup>1,2,4</sup>

**Summary:** Phytoplankton from an Argentinean Norwest River contaminated by sewage and sugarcane effluents. Gastona River is one of the tributaries more contaminated from Río Hondo Dam (Tucumán-Santiago del Estero). This river presents in sugarcane activity period (June-October) anoxic conditions and alterations of nitrogen and phosphoric components, between others causes. The aim of this paper was to characterize the water quality in agreement to species groups and densities of phytoplankton found in 1998-1999. We were selected five sampling sites along the river in relation to sewage and industry effluents discharge areas. Sampling were realized monthly and during thirteen months. We began the sampling on March. Indices employed were: Composite; Species Deficit; Pampeano Diatom Index; Euglenal; Centrales/Pennales; Chlorophyta/Chrysophyta (diatoms) and Density-Species Relations. The results obtained showed that Chlorophyta were the group most sensitive to organic mater effects. The four first indices commented previously were the most effective to differentiate between not-sugarcane activity period and sugarcane activity period.

**Key words:** phytoplankton, species, algal indices, contamination, sugarcane activity, sewage, Gastona River.

**Resumen:** El río Gastona es uno de los tributarios más contaminados del embalse Río Hondo (Tucumán-Santiago del Estero). Presenta en épocas de zafra azucarera (junio-octubre) condiciones de anoxia con alteraciones de los componentes nitrogenados y fosforado, entre otros factores. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la calidad del agua de acuerdo a los grupos de especies fitoplanctónicas y sus densidades encontrados en 1998-1999. Se seleccionaron cinco sitios según la zona de descarga de los efluentes domésticos y fabriles, realizándose muestreos mensuales por el término de trece meses, a partir de marzo. Los índices bióticos empleados fueron: Compuesto, Déficit de Especies, Índice de Diatomeas Pampeano, Euglenal, Centrales/Pennales, Chlorophyta/Chrysophyta (diatomeas) y Relaciones Abundancia-Especies. Los resultados obtenidos destacaron una mayor sensibilidad de las Chlorophyta a los efectos de la materia orgánica. Los cuatro primeros índices anteriormente nombrados fueron los más efectivos para diferenciar los períodos de no zafra y zafra.

**Palabras clave:** fitoplancton, especies, índices algales, contaminación, zafra azucarera, desechos cloacales, río Gastona.

### INTRODUCCIÓN

El ingreso de una carga orgánica excesiva a un ecosistema acuático ocasiona numerosos cambios, especialmente a nivel de nutrientes nitrogenados y

fosforados. Los contenidos nutricios y la estructura de la comunidad de acuerdo a sus especies componentes fueron dos criterios utilizados por diversos investigadores para clasificar los cuerpos de agua (Cairns *et al.*, 1972). Los primeros estudios descriptivos de asociaciones algales a distintos ambientes acuáticos estuvieron vinculados a las relaciones entre las especies de fitoplancton como indicadoras de productividad en lagos, para lo cual se desarrollaron índices y se establecieron valores que la definían (Thunmark, 1945; Nygaard, 1949; Patrick, 1973; Wetzel, 1981).

Fenómenos de eutrofización y de contaminación

<sup>1</sup> Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251, Tucumán, C.P. 4.000, Argentina. E-mail: fmlbot@tucbbs.com.ar

<sup>2</sup> ILINOIA (Instituto de Limnología del Noroeste Argentino). Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo. Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205, Tucumán, C.P. 4.000, Argentina. E-mail: ilinoia@csnat.unt.edu.ar

<sup>3</sup> UADER (Universidad Autónoma de Entre Ríos).

<sup>4</sup> CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas).

orgánica son frecuentes en sistemas fluviales. Es el caso del río Gastona que forma parte de la cuenca media del río Salí y presenta en épocas de zafra azucarera condiciones de anoxia al desembocar en el embalse Río Hondo (Tucumán - Santiago del Estero). Situaciones semejantes fueron detectadas en otros sistemas lóticos del Noroeste Argentino (Moraña, 1998; Seeligmann, 1998, entre otros).

Los principales inconvenientes en el Gastona se relacionan a las descargas de desechos cloacales y azucareros. Para dar una idea del aporte nitrogenado y fosforado a que está sometido este río, la zafra de 1973 produjo en 173 días de actividad un total aproximado de  $840 \cdot 10^3$  tn de caña molida y  $23 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup> de alcohol (Consejo Federal de Inversiones, 1980). Un estudio efectuado en Brasil calculó que  $11 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup> de alcohol originó  $140 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup> de vinaza residual, la cual de acuerdo a su composición correspondería a 49 tn de nitrógeno, 30 tn de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sup>3-</sup> y 295 tn de K<sub>2</sub>O (Gloria & Orlando, 1983). En cuanto a los efluentes cloacales descargados sin ningún tratamiento previo, los mismos pertenecieron a una población estimativa de 40.000 habitantes y, al respecto, es interesante destacar que un individuo elimina 3 g de fósforo y 15-30 g nitrógeno en forma de urea por día (Rodier, 1981).

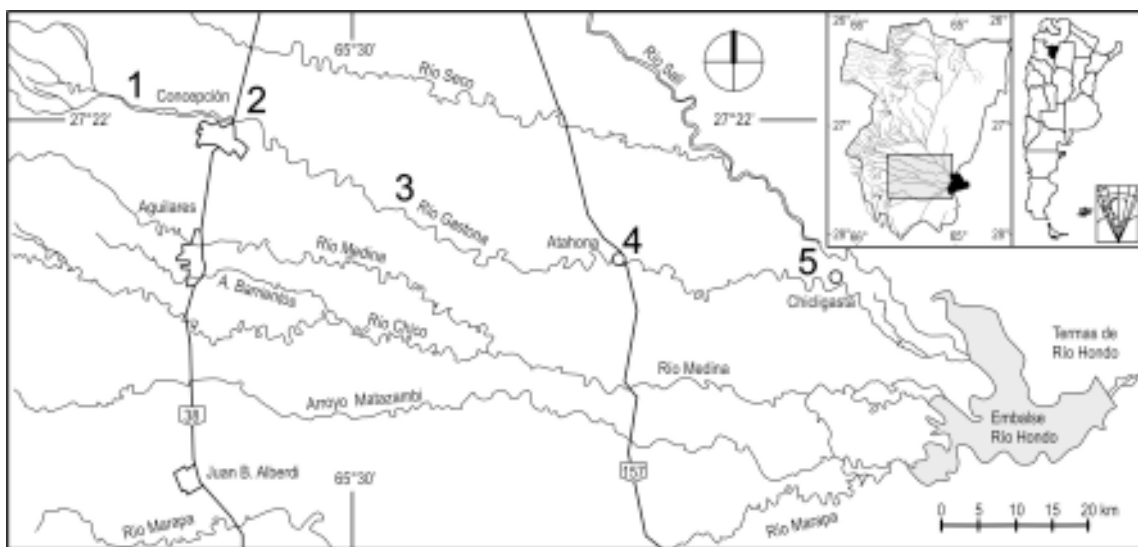
Los antecedentes vinculados con el Gastona se refieren a estudios del fitoplancton y de la calidad del agua en su desembocadura (Tracanna *et al.*, 1994, 1996; Mirande & Tracanna, 1995; Mirande *et al.*, 2000).

En Mirande *et al.* (2000) se dieron los primeros datos relacionados a disturbios antrópicos (crudos cloacales y efluentes de un ingenio azucarero) sobre la comunidad fitoplanctónica a lo largo de este curso lótico, siendo evidente el impacto de la zafra en los meses de junio-octubre. Otros estudios se centraron en la estructura del fitoplancton con relación a factores abióticos (Mirande & Tracanna, 2003) y sobre la taxonomía de diatomeas (Mirande & Tracanna, 2004a) y de cianofitas, clorofitas, euglenofitas y rodofitas (Mirande & Tracanna, 2004b).

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar la calidad de agua del río Gastona de acuerdo a los grupos de especies fitoplanctónicas y sus densidades encontrados en 1998-1999. Esta propuesta forma parte de una serie de contribuciones realizadas con la finalidad de diagnosticar limnológicamente a este recurso hídrico.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se seleccionaron cinco sitios de muestreo a lo largo del río Gastona en base a la zona de descarga de los agentes perturbadores: aguas servidas y materia orgánica. Estos correspondieron a 1) dique El Molino, 2) Ruta 38, 3) San Carlos, 4) Atahona y 5) Chicligasta, localizados los dos primeros a 16 y 7 km aguas arriba de las descargas de contaminantes, y los otros sitios a 7, 23 y 33 km aguas abajo de las mismas (Fig. 1).



**Fig. 1.** Ubicación de los sitios de muestreo: 1) dique El Molino, 2) Ruta 38, 3) San Carlos, 4) Atahona, 5) Chicligasta.

V. Mirande y B. C. Tracanna, Fitoplancton de un río del noroeste argentino contaminado

Tabla 1. Listado taxonómico de la comunidad fitoplanctónica del río Gastona (1998-1999).

Cyanophyta	Chrysophyta (continuación)
<i>Anabaena</i> sp.	<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehr.) C.
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Rabh. ex Gom.) Anagn. et Kom.	<i>P. viridis</i> (Nitzsch.) Ehr.
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehr.) Näg.	<i>Pleurosira laevis</i> (Ehr.) Compère
<i>Phormidium allorgei</i> (Frémy) Anagn. et Kom.	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Ag.) Lange-Bert.
<i>P. ambiguum</i> var. <i>maius</i> Lemm.	<i>Rhopalodia brebissonii</i> Krammer
<i>P. breve</i> (Kütz. ex Gom.) Anagn. et Kom.	<i>R. gibba</i> (Ehr.) O. Müller
<i>P. corium</i> Gom.	<i>R. gibberula</i> (Ehr.) O. Müller
<i>P. chalybeum</i> (Mert. ex Gom.) Anagn. et Kom.	<i>Stauroneis anceps</i> Ehr.
<i>P. formosum</i> (Bory ex Gom.) Anagn. et Kom.	<i>S. phoenicenteron</i> (Nitzsch.) Ehr.
<i>P. retzii</i> (Ag.) Gom.	<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i> Krammer & Lange-Bert.
<i>P. simplicissimum</i> (Gom.) Anagn. et Kom.	<i>S. linearis</i> W. Smith
<i>P. subfuscum</i> Kütz.	<i>S. splendida</i> (Ehr.) Kütz.
<i>P. tenue</i> (Ag. ex Gom.) Anagn. et Kom.	Chlorophyta
<i>Porphyrosiphon martensianus</i> (Meneg. ex Gom.) Anagn. et Kom.	<i>Actinotaenium cucurbitinum</i> var. <i>minutum</i> (Prescott) Teiling
<i>Tolypothrix distorta</i> var. <i>penicillata</i> (Ag.) Lemm.	<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda sensu Kors.
Chrysophyta	<i>Chlamydomonas globosa</i> Snow
<i>Achnanthes inflata</i> (Kütz.) Grun.	<i>Cladophora</i> sp.
<i>A. minutissima</i> var. <i>affinis</i> (Grun.) Lange-Bert.	<i>Closterium acerosum</i> (Schrank) Ehr.
<i>Amphipleura lindheimerii</i> Grun.	<i>C. gracile</i> Bréb.
<i>Amphora ovalis</i> (Kütz.) Kütz.	<i>C. calosporum</i> var. <i>maius</i> West & West
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Simonsen	<i>C. lanceolatum</i> Kütz.
<i>Bacillaria paradoxa</i> Gmelin	<i>C. leiblenii</i> Kütz.
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	<i>C. moniliferum</i> (Bory) Ehr.
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	<i>C. moniliferum</i> var. <i>concauum</i> Klebs
<i>Cymatopleura solea</i> (Bréb.) W. Smith	<i>C. pseudolunula</i> Borge
<i>Cymbella affinis</i> Kütz.	<i>Coelastrum microporum</i> Näg.
<i>C. amphicephala</i> Näg.	<i>Cosmarium</i> sp. 1
<i>C. helvetica</i> Kütz.	<i>Cosmarium</i> sp. 2
<i>C. placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehr.) C.	<i>Cosmarium</i> sp. 3
<i>C. sinuata</i> Greg.	<i>Eudorina elegans</i> Ehr.
<i>C. tumida</i> (Bréb.) Van Heurck	<i>Gonatozygon kinahani</i> Rabh.
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	<i>G. pilosum</i> Wolle
<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) C.	<i>Hydrodictyon reticulatum</i> (Linn.) Lagerheim
<i>Eunotia dydima</i> var. <i>claviculata</i> Hustedt	<i>Monoraphidium pusillum</i> (Printz) Kom.-Leg.
<i>Eunotia minor</i> (Kütz.) Grun.	<i>Oedogonium</i> sp. 1
<i>E. pectinalis</i> (Dillwyn?), O. F. Müller, Kütz.) Rabh.	<i>Oedogonium</i> sp. 2
<i>Fragilaria arcus</i> (Ehr.) C.	<i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory
<i>F. capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (Rabh.) Rabh.	<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>punctatum</i> (Krieger) Parra
<i>F. ulna</i> (Nitzsch.) Lange-Bert.	<i>Penium margaritaceum</i> (Ehr.) Bréb.
<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni	<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehr.	<i>S. acutus</i> f. <i>costulatus</i> (Chod.) Uherkov.
<i>G. parvulum</i> (Kütz.) Kütz.	<i>S. denticulatus</i> var. <i>linearis</i> Hansg.
<i>G. truncatum</i> Ehr.	<i>S. ecomis</i> (Ralfs) Chod.
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabh.	<i>S. ecomis</i> var. <i>disciformis</i> Chod.
<i>G. scalproides</i> (Rabh.) C.	<i>S. intermedius</i> Chod.
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun.	<i>S. quadricauda</i> (Türp.) Bréb.
<i>Melosira varians</i> Ag.	<i>S. spinosus</i> Chod.
<i>Navicula amphibola</i> C.	<i>Sphaeroszoma</i> sp.
<i>N. cuspidata</i> (Kütz.) Kütz.	<i>Spirogyra</i> sp. 1
<i>N. exigua</i> (Greg.) Grun.	<i>Spirogyra</i> sp. 2
<i>N. goeppertiana</i> (Bleisch) H. L. Smith	<i>Spirogyra</i> sp. 3
<i>N. goeppertiana</i> var. <i>dapalis</i> (Frenguelli) Lange-Bert.	<i>Staurodesmus dickiei</i> (Ralfs) Lillieroth
<i>N. lanceolata</i> (Ag.) Ehr.	<i>Stigeoclonium longipilum</i> Kütz.
<i>N. peregrina</i> (Ehr.) Kütz.	<i>Ulothrix tenerrima</i> (Kütz.) Kütz.
<i>N. pupula</i> Kütz.	Euglenophyta
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz.) W. Smith	<i>Euglena acus</i> Ehr.
<i>N. gracilis</i> Hantzsch	<i>E. ehrenbergii</i> Klebs
<i>N. linearis</i> (Ag.) W. Smith	<i>E. proxima</i> Dang.
<i>N. palea</i> (Kütz.) W. Smith	<i>E. spirogyra</i> Ehr.
<i>N. sigmoidea</i> (Nitzsch.) W. Smith	<i>Lepocinclis playfairiana</i> Defl.
<i>N. vermicularis</i> (Kütz.) Hantzsch	<i>L. turbiniformis</i> Defl.
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> W. Smith	<i>Phacus undulatus</i> (Skv.) Pochm.
<i>P. dactylus</i> Ehr.	<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) Stein emend. Defl.
<i>P. divergens</i> W. Smith	<i>T. hispida</i> var. <i>hispida</i> f. <i>sudamericana</i> Tell
<i>P. gibba</i> var. <i>linearis</i> Hustedt	Rhodophyta
<i>P. interrupta</i> W. Smith	<i>Chantransia</i> (estado vegetativo)
<i>P. maior</i> (Kütz.) Rabh.	

Este río se origina en las Sierras del Aconquija con precipitaciones anuales que oscilan entre 1.500-2.000 mm y que hacia el embalse descienden a 700-500 mm. El caudal para los años 1970-1971 fue de 933, 820 y 10.020 l seg<sup>-1</sup> en épocas invernal, primavera y estival (Consejo Federal de Inversiones, 1980). Es un río de orden cinco con una cuenca de 1.117 km<sup>2</sup> (Minetti *et al.*, 1979). Su fisonomía en dique El Molino es la de un típico río de montaña, de lecho principalmente arenoso, mientras que aguas abajo se asemeja a uno de llanura con un sustrato limoarenoso.

Las muestras cualitativas se obtuvieron mediante red de plancton de 20 µm de malla expuesta a la corriente durante 20 minutos, fueron fijadas "in situ" con formaldehído al 4%. El análisis de las algas fitoplanctónicas se basó en fracciones superiores a 20 µm; también se registraron taxones de dimensiones menores debido a que el tamaño de poro de red utilizado posibilita una retención promedio del 8-12% (Vollenwaider, 1974). La bibliografía utilizada en las determinaciones taxonómicas fueron comentadas en Mirande & Tracanna (2004a, b). La riqueza florística encontrada en el río Gastona se indica en las Tablas 1 y 2.

Las muestras cuantitativas se extrajeron en envases de 500 ml y se fijaron "in situ" con formaldehído al 4%. La cuantificación se realizó bajo microscopio invertido y se contó un número fijo de campos elegidos al azar, aceptándose un error de conteo de hasta 20% (más frecuentes 4-7%). Se consideró a las algas unicelulares, coloniales y filamentosas como unidad individuo.

Los índices de Nygaard (1949) que se utilizaron teniendo en cuenta la riqueza fitoplanctónica fueron:

Índice Compuesto = cianofitas + clorococcales + centrales + euglenales/desmidiáles

Índice Euglenal = euglenales/cianofitas + clorococcales

Índice Ce/Pen = centrales/pennales

Estos autores observaron que los valores menores a uno pertenecieron a aguas oligotróficas; cercanos a uno a lagos distróficos, ricos en desmidiáceas y en compuestos húmicos y orgánicos disueltos; y los más elevados a los de características eutróficas.

Ante la superioridad general de las clorofitas en segundo término, se decidió emplear un índice que destacara la relación específica de éstas con el grupo dominante de las diatomeas:

Índice Clo/Dia = clorofitas / diatomeas

Se utilizó el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) que fue diseñado para evaluar la eutrofización y polución orgánica de ríos y arroyos (Gómez & Licursi, 2001). Se aplicó al fitoplancton en su totalidad, mediante la fórmula  $IDP = \bar{O} (s \cdot h) / \bar{O} h$ , siendo h la densidad absoluta de la especie y s el valor del IDP para cada especie (fluctúa entre 0 y 4). Este último fue obtenido de acuerdo a la sensibilidad de cada taxón con tres variables estrechamente relacionadas a disturbios eutróficos y orgánicos (demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), amonio, y ortofosfato). El IDP varía entre 0 y 4, rango que define cinco tipos de clases de calidad de agua según las concentraciones de DBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, que son definidas como muy buena (0-0,5), buena (>0,5-1,5), aceptable (>1,5-2), mala (>2-3) y muy mala (>3-4) (Licursi & Gómez, 2003).

También se aplicó el índice de déficit de especies (Ds) de Kothé (1962). Se eligió como referencia a los ambientes no perturbados, dique el Molino y Ruta 38, por lo cual se sumaron las especies de ambos sitios. Este índice varía de 0 (ningún déficit de especies respecto al punto de referencia) a 100% (pérdida total de las especies presentes en el punto de referencia).

Se utilizó el modelo matemático desarrollado por Patrick *et al.* (1954) a fin de analizar la relación existente entre el número de especies y la densidad de individuos en la comunidad fitoplanctónica. Estos autores lograron mostrar cambios en la estructura de la comunidad diatomológica de ríos que ocurrieron bajo los efectos de diversas clases de polución orgánica (Patrick, 1973). Se dividió la abundancia del fitoplancton en rangos y se contó la cantidad de especies pertenecientes a cada uno, considerándose:

rango 1-2: 1 a 2 ind ml<sup>-1</sup>; 2-3: 2 a 4 ind ml<sup>-1</sup>; 3-4: 4 a 8 ind ml<sup>-1</sup>; 4-5: 8 a 16 ind ml<sup>-1</sup>; 5-6: 16 a 32 ind ml<sup>-1</sup>; 6-7: 32 a 64 ind ml<sup>-1</sup>; 7-8: 64 a 128 ind ml<sup>-1</sup>; 8-9: 128 a 256 ind ml<sup>-1</sup>.

En la evaluación se empleó el fitoplancton en su totalidad; se hizo estacionalmente, por lo cual se promediaron las entidades involucradas para otoño, invierno, primavera y verano.

El análisis de componentes principales (ACP) se usó para la ordenación de los índices Compuesto, Euglenal, Centrales/Pennales, Clorofitas/Diatomeas, Déficit de Especies y el Índice de Diatomeas Pampeano en relación a las variables nitrogenadas (nitrato y amonio), ortofosfato, oxígeno

V. Mirande y B. C. Tracanna, Fitoplancton de un río del noroeste argentino contaminado

**Tabla 2.** Distribuciones espaciales y temporales de la riqueza fitoplanctónica específica del río Gastona (1998-1999).

	M-98	A-98	M-98	J-98	J-98	A-98	s-98	O-98	N-98	D-98	E-99	F-99	M-99
Dique El Molino													
Cyanophyta													
Orden Chroococcales			1		1	1	1	1			2	2	
Orden Nostocales							1						
Orden Oscillatoriales	2	3	3	2	3	2	3	2	3	5	4	3	4
<b>Total especies =</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Chrysophyta													
Orden Centrales	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1
Orden Pennales	19	29	25	26	29	34	35	27	34	30	34	30	33
<b>Total de especies =</b>	<b>21</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>29</b>	<b>36</b>	<b>31</b>	<b>35</b>	<b>31</b>	<b>34</b>
Chlorophyta													
Orden Volvocales						1							
Orden Chlorococcales		1	1	2	3	3	4	5	5	4		1	
Orden Ulothricales						1	1						
Orden Chaetophorales	1		1	1			1	1	1	1	1	1	1
Orden Oedogoniales	2	2	1	1			1	1	2	1	1	1	2
Orden Siphonocladales									1				
Orden Zygnematales	1			2		2	2	2	1	1	1	1	1
Orden Desmidiáles	5	6	5	5	2	5	10	6	5	3	4	2	3
<b>Total de especies =</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Euglenophyta													
Orden Euglenales							1	1		1	1		
<b>Total de especies =</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Rhodophyta													
Orden Nematiales		1	1										
<b>Total de especies =</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL DE ESPECIES =</b>	<b>32</b>	<b>43</b>	<b>39</b>	<b>41</b>	<b>39</b>	<b>51</b>	<b>62</b>	<b>48</b>	<b>54</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	<b>40</b>	<b>45</b>
Ruta 38													
Cyanophyta													
Orden Chroococcales					1		1	1		1			
Orden Nostocales						1	1	1		2	1	1	
Orden Oscillatoriales	3	2	4	1	2	3	3	2	4	6	3	3	4
<b>Total especies =</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
Chrysophyta													
Orden Centrales	2	2	1	2	1	2	2	3	2	1	2	1	2
Orden Pennales	22	27	27	29	20	37	32	27	36	29	35	34	30
<b>Total de especies =</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>21</b>	<b>39</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>38</b>	<b>30</b>	<b>37</b>	<b>35</b>	<b>32</b>
Chlorophyta													
Orden Volvocales	1												
Orden Chlorococcales		2		3	4	7	5	7	5	6	2	2	1
Orden Ulothricales						1	1	1	1				
Orden Chaetophorales	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1
Orden Oedogoniales	2	2	2		1	1	1	2	1	1	1	1	2
Orden Zygnematales	1	1	1	1		3	2	1	1	1	1	1	3
Orden Desmidiáles	4	2	3	4	2	7	7	6	4	4	1	3	6
<b>Total de especies =</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>13</b>
Euglenophyta													
Orden Euglenales						1	1	2	1	1	2		
<b>Total de especies =</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Rhodophyta													
Orden Nematiales													1
<b>Total de especies =</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>TOTAL DE ESPECIES =</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>41</b>	<b>31</b>	<b>63</b>	<b>57</b>	<b>53</b>	<b>57</b>	<b>53</b>	<b>49</b>	<b>47</b>	<b>50</b>
San Carlos													
Cyanophyta													
Orden Chroococcales							1	1	1	1			
Orden Oscillatoriales	2	2	3	2	3	5	3	2	3	4	3	3	4
<b>Total especies =</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Chrysophyta													
Orden Centrales	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2
Orden Pennales	24	31	33	31	23	27	23	19	27	20	30	22	29
<b>Total de especies =</b>	<b>26</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>24</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>21</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>31</b>	<b>23</b>	<b>31</b>
Chlorophyta													
Orden Volvocales		1											
Orden Chlorococcales	2	3	1	2	1	4	1	5	6	4	3		1
Orden Ulothricales						1							
Orden Chaetophorales	1	1	1						1	1		1	1
Orden Oedogoniales		2	1				1						1
Orden Zygnematales	1		2		1	3	1		1	1	1		1
Orden Desmidiáles	3	4	5	1	3	3	2	2	2	2	1	3	3
<b>Total de especies =</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

Tabla 2. Continuación.

	M-98	A-98	M-98	J-98	J-98	A-98	s-98	O-98	N-98	D-98	E-99	F-99	M-99
San Carlos (continuación)													
Euglenophyta													
Orden Euglenales		1			5	4	2	2	4	1			
<b>Total de especies =</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Rhodophyta													
Orden Nematinales		1											
<b>Total de especies =</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL DE ESPECIES =</b>	<b>35</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>38</b>	<b>37</b>	<b>49</b>	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>47</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>42</b>
Atahona													
Cyanophyta													
Orden Nostocales	1	1		1		1			1	1		1	
Orden Oscillatoriales	2	3	3	1	3	4	2	3	3	3	2	2	3
<b>Total especies =</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Chrysophyta													
Orden Centrales	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	3	1
Orden Pennales	26	29	33	30	21	26	29	24	32	23	36	34	29
<b>Total de especies =</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>34</b>	<b>32</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>33</b>	<b>24</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>30</b>
Chlorophyta													
Orden Volvocales								1		1			
Orden Chlorococcales		1				2	2	5	5	7	1	2	1
Orden Ulothricales						1				1			
Orden Chaetophorales	1	1	1						1			1	
Orden Oedogoniales	1	2	1								2		1
Orden Zygnematales		1							1	1			1
Orden Desmidiiales	3	1	3	2	1	5	3	3	1	2	2	1	2
<b>Total de especies =</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Euglenophyta													
Orden Euglenales	2				2	4	3	3	2	4	1		
<b>Total de especies =</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL DE ESPECIES =</b>	<b>38</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>45</b>	<b>41</b>	<b>41</b>	<b>47</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>38</b>
Chicligasta													
Cyanophyta													
Orden Nostocales	1			1						1		1	
Orden Oscillatoriales	2	2	3	1	1	3	2	3	3	3	1	2	2
<b>Total especies =</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
Chrysophyta													
Orden Centrales	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1
Orden Pennales	31	25	35	25	23	28	29	23	33	22	36	33	31
<b>Total de especies =</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>36</b>	<b>26</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>24</b>	<b>34</b>	<b>23</b>	<b>37</b>	<b>35</b>	<b>32</b>
Chlorophyta													
Orden Volvocales	1							1		1			
Orden Chlorococcales	1			1		1		2	5	5		4	2
Orden Ulothricales										1			
Orden Chaetophorales	1	1	1	1									1
Orden Oedogoniales	1	1	1									1	1
Orden Zygnematales	1	1					1	1	1	1		1	1
Orden Desmidiiales	3	2	4	1	1	3	2	1	2	2	1	3	2
<b>Total de especies =</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>7</b>
Euglenophyta													
Orden Euglenales	3		2	2	1	3	1	2	3	2		2	2
<b>Total de especies =</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>TOTAL DE ESPECIES =</b>	<b>47</b>	<b>33</b>	<b>47</b>	<b>33</b>	<b>27</b>	<b>40</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>48</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>49</b>	<b>43</b>

Tabla 3. Valores mensuales, expresados en mg l<sup>-1</sup>, de compuestos nitrogenados y fosforado, oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en el río Gastona.

Meses	Dique El Molino					Ruta 38					San Carlos					Atahona					Chicligasta				
	DBO <sub>5</sub>	OD	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	DBO <sub>5</sub>	OD	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	DBO <sub>5</sub>	OD	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	DBO <sub>5</sub>	OD	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	DBO <sub>5</sub>	OD	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>
M-98	2,5	9	0,1	16	0,1	2,1	9	0,1	35	0,1	3	7	0,1	19	0,1	3	7	0,1	14,9	0,1	3	7	0,1	10	0,3
A-98	0,8	9	0,1	25	0,1	0,5	9	0,1	3	0,1	1	8	0,1	4	0,2	1	8	0,1	3,1	0,2	1	8	0,2	4	0,2
M-98	3,9	10	0,2	8	0,1	4,0	10	0,2	3	0,1	4	9	0,2	2	0,3	4	9	0,2	3,7	0,3	4	10	0,3	3	0,3
J-98	0,5	10	0,2	3	0,1	1,3	10	0,1	3	0,1	1	8	0,3	3	0,4	3	6	0,7	3,1	2,1	2	7	0,5	2	2,0
J-98	0,8	10	0,2	3	0,1	0,6	10	0,2	2	0,1	33	5	0,4	0	1,2	70	3	0,8	0,0	2,5	43	2	0,9	0	2,6
A-98	1,0	9	0,2	4	0,1	2,3	9	0,2	3	0,1	365	0	2,5	0	10,4	280	0	0,5	0,0	3,2	330	0	1,8	0	14,8
S-98	0,2	10	0,1	2	0,1	0,5	9	0,1	1	0,1	190	2	0,1	0	3,1	210	1	0,1	0,0	5,8	213	0	0,1	0	5,8
O-98	0,5	11	0,3	3	0,2	0,6	10	0,3	2	0,6	360	1	4,6	2	3,7	290	0	4,8	2,8	2,8	245	0	4,9	2	4,1
N-98	0,4	9	0,4	4	0,1	0,6	9	0,3	5	0,1	29	2	0,4	18	0,7	21	1	0,4	1,7	0,9	9	1	0,3	4	1,0
D-98	0,7	9	0,3	2	0,1	0,6	9	0,4	2	0,1	76	1	4,5	0	0,7	34	3	4,4	0,2	0,8	27	4	4,8	0	0,5
E-99	4,2	8	0,0	1	0,2	4,2	8	0,0	1	0,2	4	7	0,0	1	0,2	5	6	0,0	1,3	0,2	5	7	0,0	1	0,3
F-99	2,9	8	0,2	3	0,1	2,6	8	0,2	3	0,1	3	7	0,0	2	0,3	3	7	0,2	1,1	0,4	3	7	0,4	3	0,4
M-99	1,5	8	0,4	35	0,1	1,7	8	0,3	37	0,2	2	7	0,4	36	0,4	1	7	0,7	47,5	0,4	1	7	0,8	43	0,4

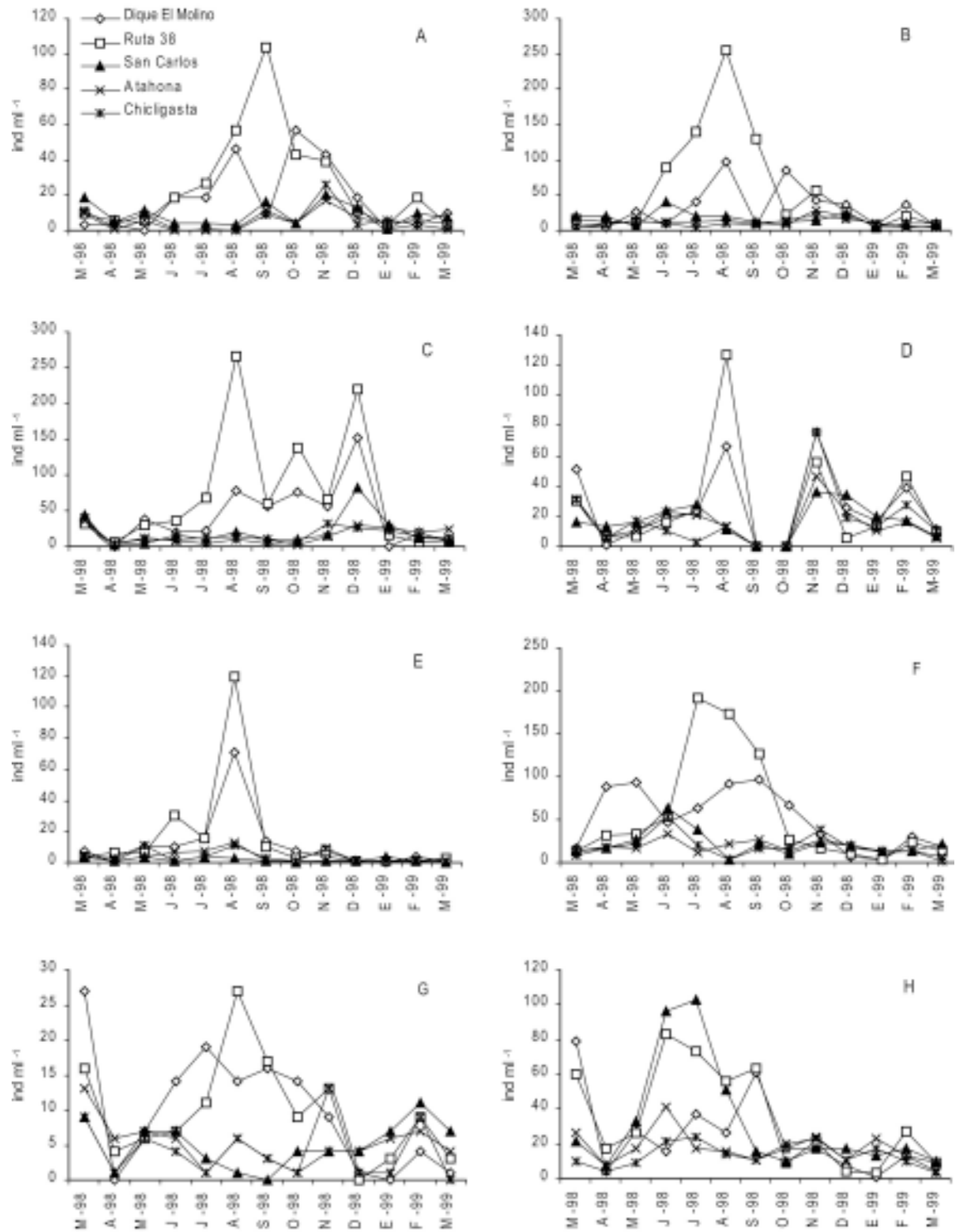


Fig. 2. A-H. Especies dominantes en el río Gastón. A. *Cymbella affinis*; B. *Cymbella amphicephala*; C. *Cymbella helvetica*; D. *Fragilaria ulna*; E. *Melosira varians*; F. *Navicula exigua*; G. *Navicula goeppertiana*; H. *Nitzschia palea*.

no disuelto (OD) y  $DBO_5$  de los cinco sitios de muestreo. Se emplearon valores normalizados y estandarizados, y la matriz de correlación. Los datos se procesaron mediante el paquete estadístico NTSYS.

Se recurrió al Coeficiente de Correlación de Pearson para estudiar las relaciones significativas ( $\alpha$ : 0,05\*; 0,01\*\*) entre las variables expresadas utilizadas en el ACP. Para ello, se utilizó el programa estadístico SPSS para Windows.

La metodología que se siguió para el análisis de los compuestos nitrogenados, ortofosfato, OD y  $DBO_5$  fue la recomendada en APHA (1992) y Rodier (1989).

## RESULTADOS

La superioridad cualitativa y cuantitativa de las diatomeas en la comunidad algal del río Gastona fue evidente. Las especies dominantes y más frecuentes fueron *Cymbella affinis* Kützing, *C. amphicephala* Nägelli, *C. helvetica* Kützing, *Fragilaria ulna* Lange-Bertalot, *Melosira varians* C. Agardh, *Navicula exigua* Grunow, *N. goeppertiana* (Bleisch) H. L. Smith y *Nitzschia palea* W. Smith. La mayoría mostró una importante disminución en densidad en época de zafra azucarera. Las diferencias entre los ambientes no perturbados y perturbados se acentuaron durante este período obteniéndose en agosto para *C. amphicephala*, por ejemplo, valores que oscilaron entre 97-256 en los primeros y menores de 20 ind  $ml^{-1}$  en los segundos. En cambio, tales contrastes entre los puntos de recolecciones no existieron en los meses de no zafra (Fig. 2 A-H).

El índice compuesto (Fig. 3 A) fluctuó entre 2-17 en los sectores no perturbados y 1-16 en los afectados por la zafra. En líneas generales, los máximos ocurrieron en los sitios uno y dos en primavera y en los otros tres de agosto a diciembre, mientras que los mínimos en las cinco secciones del río analizadas se dieron en otoño y verano. Aguas abajo de Ruta 38, la mayor perduración temporal de las especies de los grupos participantes en este índice respecto a desmidiáceas, se debió particularmente a las cianofitas, euglenofitas y clorococcales, acentuándose la participación de esta última sobre todo a partir de octubre. En los sitios 1 y 2, en cambio, las que posibilitaron principalmente los aumentos dados en primavera fueron las clorococcales y las azules.

El índice euglenal (Fig. 3 B) fluctuó entre 0-0,1 en dique El Molino, 0-0,3 en Ruta 38, 0-1,3 en San

Carlos, 0-0,8 en Atahona y 0-1 en Chicligasta. Los máximos ocurrieron en los sitios uno y dos en primavera y comienzos del verano, y en los otros ambientes los picos se dieron entre los meses séptimo y noveno, aunque desde julio y hasta diciembre los tenores fueron superiores a 0,5. Respecto a la mayor perduración temporal de este índice aguas abajo de Ruta 38, fue debido a que las condiciones ocasionadas por la actividad azucarera permitieron una predominancia de euglenofíceas sobre cianofíceas y clorococcales. Asimismo, el grupo de las verdes recientemente citado, se destacó sobre todo en octubre y noviembre, y las azules en los otros meses.

El índice Ce/Pen (Fig. 3 C) no mostró contrastes notorios entre los sitios, y fluctuó entre 0,03-0,1 de dique El Molino a Atahona y 0,03-0,07 en Chicligasta. En general, los leves ascensos se dieron en otoño y primavera.

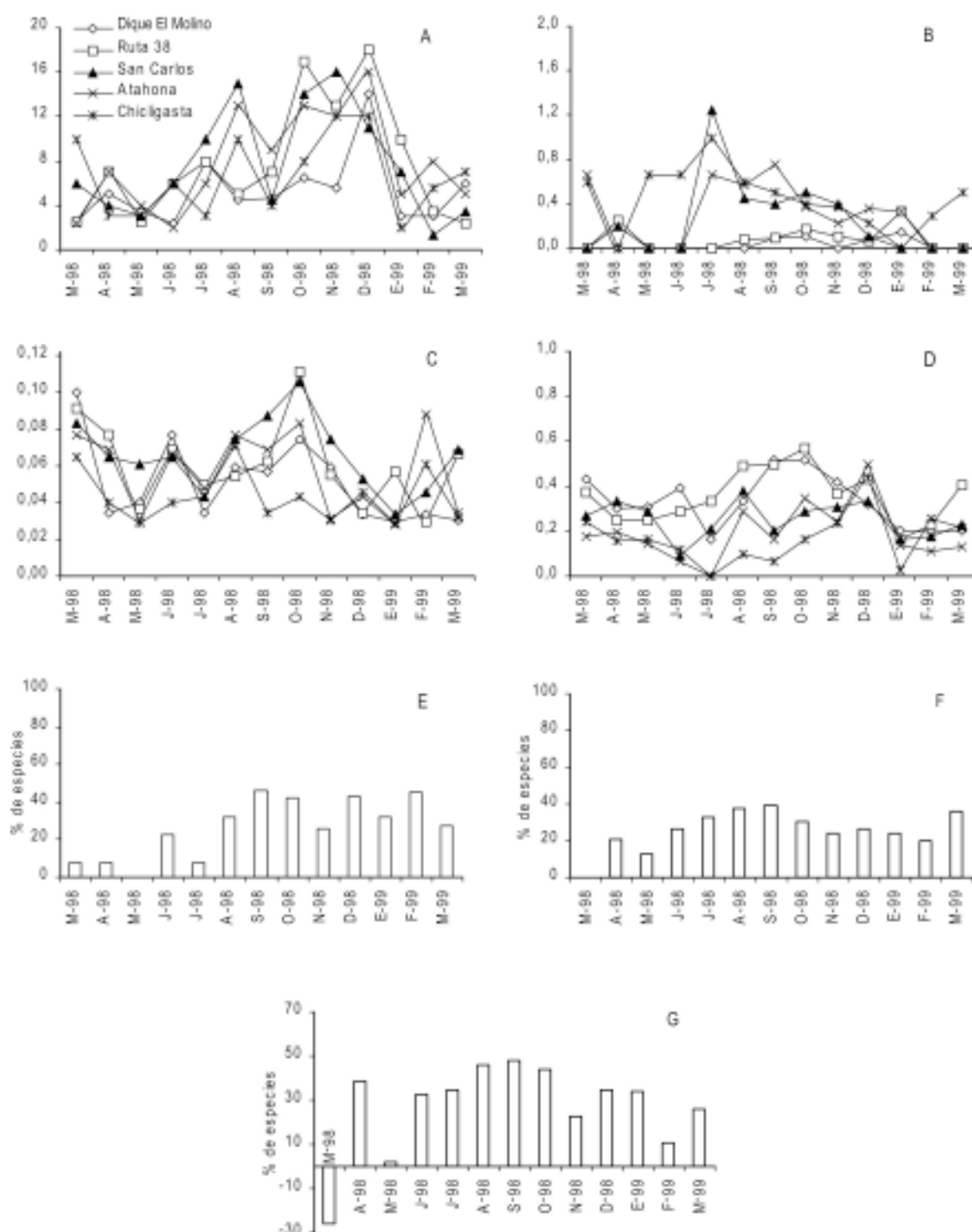
El índice Clo/Dia (Fig. 3 D) varió entre 0,2-0,6 en los sectores 1 y 2, y 0,1-0,5 en los restantes. En líneas generales, los máximos ocurrieron en los cinco sitios en primavera y los mínimos generalmente en otoño e invierno. Sin embargo, manifestó una mayor perduración temporal en las zonas "prístinas", mientras que en Chicligasta tuvo su mayor caída, permaneciendo con valores inferiores de 0,2 en once de los trece meses de muestreo.

En el índice déficit de especies (Ds) (Fig. 3 E - G) se observó que en los tres sectores analizados los máximos porcentajes de renovación en especies se dieron en períodos de zafra (septiembre) y a veces en verano, los cuales oscilaron entre 40-48%. Asimismo, de marzo a mayo las especies presentes en estos sitios prácticamente coincidieron con las de las zonas no perturbadas, por lo cual los porcentajes encontrados fueron inferiores a 13%, salvo abril en Atahona y Chicligasta donde llegaron a 20 y 38%, respectivamente. Por último, al observar marzo de 1998 con el de 1999, podría presumirse que las condiciones presentes no fueron semejantes, de ahí que en el primer año no hubo déficit de especies en Atahona y Chicligasta con respecto al sector referencial, mientras que en San Carlos el recambio fue apenas del 8%. En marzo del segundo año, en cambio, la renovación en especies estuvo entre 26-36%.

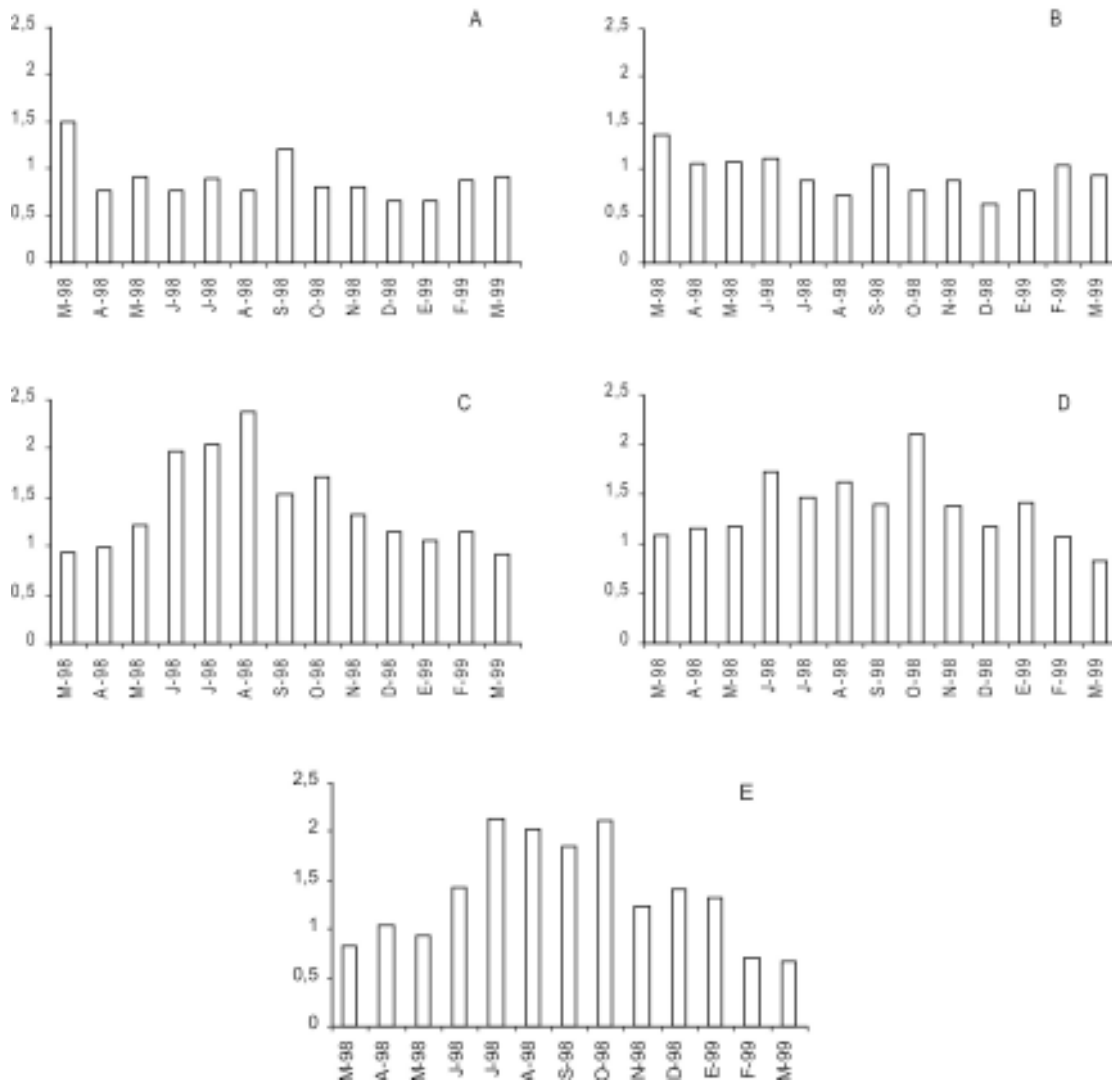
El IDP (Fig. 4 A-E) mostró en los sitios 1 y 2 pocas fluctuaciones temporales con valores que oscilaron entre 0,6-1,5, mientras que en las otras secciones del río los registros fluctuaron entre 0,7-2,4



V. Mirande y B. C. Tracanna, Fitoplancton de un río del noroeste argentino contaminado



**Fig. 3.** A-G, Índices algales empleados en el río Gastón. **A**, Compuesto; **B**, Euglenal; **C**, Centrales / Pennales; **D**, Clorofitas / Diatomeas; **E- G**, Déficit de especies, **E**, San Carlos; **F**, Atahona; **G**, Chicligasta.



**Fig. 4. A-E,** Índice de Diatomeas Pampeano en base al fitoplancton del río Gastón. **A,** Dique El Molino; **B,** Ruta 38; **C,** San Carlos; **D,** Atahona; **E,** Chicligasta.

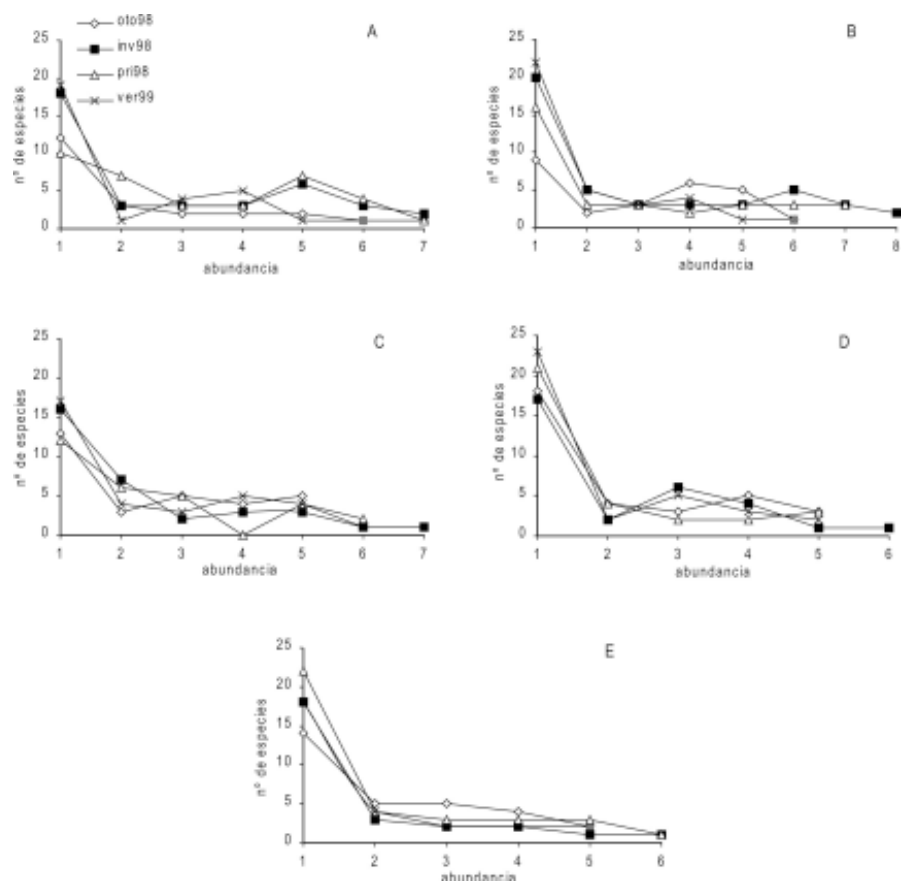
y con una tendencia de aumentar hacia junio-octubre. En estos meses la calidad del agua fue mala, destacándose un mejoramiento hídrico por la finalización de la zafra azucarera y lluvias posteriores, entre otros factores.

Al comparar las relaciones entre rangos de abundancia y riquezas manifestadas por el fitoplancton (Fig. 5 A-E), el modelo empleado resaltó a las especies raras (1-2 ind ml<sup>-1</sup>) y, en menor medida, a las de abundancia intermedia (4-32 ind ml<sup>-1</sup>). Asimismo, San Carlos mostró una progresión más gradual desde el intervalo 1-2 a los siguientes, debido a una disminución de las especies de hasta dos organismos.

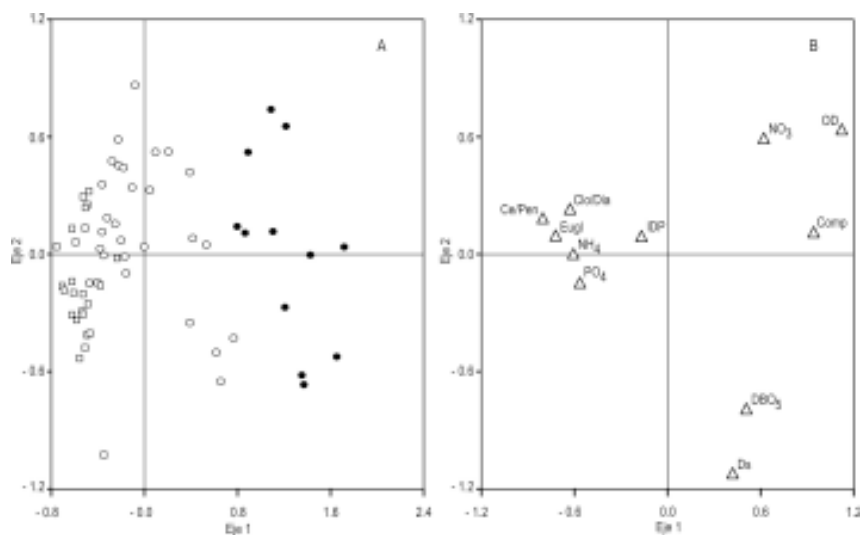
En el ACP se observó que los dos primeros componentes explicaron el 65% de la variabilidad de los datos, siendo responsables del 49 y 16 de la varianza total. Los ejes 1 y 2 separaron a las muestras de zafra de San Carlos, Atahona y Chicligasta de las restantes (Fig. 6 A). Las variables del eje 1 que aportaron a esta ordenación fueron DBO<sub>5</sub>, OD, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, IDP, Ds, Eugl (coeficientes de correlación intra-set: 0,94, -0,93, 0,92, 0,81, 0,76 y 0,70, respectivamente), mientras que en el componente 2, las que contribuyeron a la ordenación, fueron: Clo/Día y Comp (coeficientes de correlación intra-set: -0,87, -0,63) (Fig. 6 B).

Los efectos de la actividad fabril produjeron

V. Mirande y B. C. Tracanna, Fitoplancton de un río del noroeste argentino contaminado



**Fig. 5. A-E,** Relación abundancia especie en el río Gastona. **A,** Dique El Molino; **B,** Ruta 38; **C,** San Carlos; **D,** Atahona; **E,** Chicligasta.



**Fig. 6. A-B.** Análisis de componentes principales (ACP) se usó para la ordenación de los índices Compuesto, Euglenal, Centrales / Pennales, Clorofitas / Diatomeas, Déficit de Especies y el Índice de Diatomeas Pampeano en relación a las variables nitrogenadas (nitrato y amonio), ortofosfato, oxígeno disuelto (OD) y  $DBO_5$  de los cinco lugares de muestreo. **A-B,** Representación de los ejes 1 y 2. Los símbolos empleados fueron: cuadrado (dique El Molino y Ruta 38), círculo vacío (San Carlos, Atahona y Chicligasta, período no zafra), círculo lleno (San Carlos, Atahona y Chicligasta, período de zafra).

cambios en diversas variables ambientales, por ejemplo, condujeron a incrementos de la demanda bioquímica de oxígeno, amonio y ortofosfato, y consumo del oxígeno disuelto y nitrato (Tabla 3). Al estudiar los tipos de correlaciones entre estas variables y los índices bióticos estudiados, el coeficiente de correlación de Pearson mostró que las condiciones de aerobiosis fueron favorables únicamente para Clo/Dia (0,27\*) y no para los otros índices (Ds: -0,77\*\*, IDP: -0,70\*\*, Eugl: -0,58\*\*, Comp: -0,42\*\*). Las variables que tuvieron correlaciones positivas con la DBO<sub>5</sub> fueron IDP (0,68\*\*), Ds (0,59\*\*), Eugl (0,44\*\*), Comp (0,37\*\*) y Ce/Pen (0,30\*\*). En relación a los componentes nitrogenados y fosforado no se encontró correlación con Clo/Dia, mientras que los otros índices presentaron asociaciones positivas con el amonio (Comp: 0,49\*\*, Ds: 0,48\*\*, IDP: 0,45\*\*) y ortofosfato (IDP: 0,63\*\*, Ds: 0,53\*\*, Eugl: 0,44\*\*, Comp: 0,30\*), y negativa con el nitrato (IDP: -0,28\*).

## DISCUSIÓN

La contaminación orgánica está frecuentemente relacionada con fenómenos eutróficos, que conducen a incrementos de ciertos compuestos nitrogenados y fosforados. Situaciones semejantes fueron descritas por diversos autores (Moraña, 1998; Seeligmann, 1998; Gómez & Licursi, 2001; Licursi & Gómez, 2003, entre otros). Los índices Compuesto y el IDP cumplieron su rol como indicadores de eutrofización, estando especialmente vinculados a las fluctuaciones manifestadas por el amonio y fosfato, con los cuales correlacionaron positivamente. Asimismo, estos índices fueron favorecidos por las condiciones originadas por la materia orgánica, donde el fosfato no fue un factor limitante. Clo/Dia mostró sensibilidad a los efectos de la actividad azucarera, presentando una correlación positiva con el oxígeno. Ello induciría a considerar a las clorofitas como el grupo más sensible a las perturbaciones originadas por la manufactura del azúcar. Seeligmann (1998) observó en el río Salí que este grupo disminuyó en número de especies hacia el embalse Río Hondo debido a una mayor carga contaminante. Por lo tanto, dicha autora sugirió que se podría considerar a las algas verdes como poco adaptadas a condiciones de baja calidad de agua y las catalogó como "sensibles". Los resultados también darían indicios de una dependencia de este grupo a la disponibilidad de refu-

gios presentes en el curso de agua, de ahí que fueron más numerosas en los sitios 1 y 2 donde contaron con mayor diversidad de microhábitats y "zonas muertas" para ser retenidas, en relación a los otros sectores. El euglenal, que sería el único de estos índices aplicados revelador de una verdadera saprotrofia, permitió separar los ambientes perturbados por la zafra de los no perturbados, mostrando afinidad por estas condiciones de zafra, de acuerdo a las asociaciones que tuvo con las variables estudiadas.

El índice de Kothé mostró la variabilidad ambiental originada por la zafra que se manifestó con mayores recambios de especies, siendo favorecidas las afines a estas nuevas condiciones, comprobado por las correlaciones encontradas, además de destacar el mejoramiento de las aguas hacia fines del verano y principios de otoño. Moraña (1998), quién observó que el déficit de especies fue mayor en promedio en período de estiaje que de lluvias, también constató un marcado aumento de autodepuración con el incremento del caudal. Kothé caracterizó a su método como un "simple criterio" de evaluación de la polución. Una de las críticas a esta propuesta fue la de poseer un valor afirmativo relativamente débil en relación a otros métodos biológicos de evaluación de aguas (Elster, 1966) debido a que está basado, por lo menos parcialmente, en el número de especies (Schäfer, 1985). Aún así, su empleo fue útil al reflejar los recambios de especies en los ambientes perturbados por los efluentes antrópicos y, aunque no es un requisito del método la identificación taxonómica de las especies participantes, conocerlas fue positivo para un mejor aprovechamiento de la información obtenida. Al respecto, debe tenerse presente que los organismos en los ecosistemas biológicos son portadores de información, y pueden ser considerados como sistemas abiertos en equilibrio fluctuante con su ambiente, es decir, en continuo intercambio, y están capacitados para equilibrar oscilaciones a través de mecanismos de regulación residentes en el equipamiento genético y formas de manifestación de cada especie (Pielou, 1966a, b; Schäfer, 1985).

El ACP permitió separar los sitios afectados por la zafra azucarera de los restantes al ordenar las muestras en relación a las variables abióticas y bióticas analizadas en este trabajo. Asimismo, destacó las contribuciones que los índices IDP, Ds, Clo/Dia, Comp y Eugl aportaron para dilucidar la problemática en estudio, vinculada a fenómenos simultáneos de polución orgánica y eutrofización.

## CONCLUSIONES

El mejoramiento de la calidad del agua en el río Gastona estuvo particularmente vinculado a la finalización de la zafra azucarera y a lluvias primaverales y estivales que fueron fundamentales para las diluciones a nivel de la carga orgánica entre otros factores, o sea, a agentes climáticos que incidieron en las características hidrológicas del cuerpo de agua.

La composición específica básica de la comunidad ficológica con supremacía de diatomeas y, en menor orden, de clorofitas, mostró variaciones espaciales y temporales de acuerdo a las condiciones del medio acuático, con mayor número de especies de euglenofitas y otras afines a la materia orgánica en los ambientes afectados por la zafra, especialmente durante esta actividad.

Los índices basados en riqueza del fitoplancton mostraron, en general, tanto diferenciaciones definidas entre zafra y no zafra como a nivel de eutrofización, siendo útiles para conocer el comportamiento de los grupos algales considerados en los mismos (cianofitas, clorococcales, clorofitas, desmidiales, diatomeas y euglenofitas), destacándose las clorofitas por una mayor sensibilidad a los efectos de la materia orgánica.

El índice de Kothé fue una herramienta útil para diferenciar los recambios en especies por los efectos azucareros, a pesar de ser considerado como un "simple criterio" de evaluación de la polución.

Asimismo, el índice de diatomeas pampeano, coincidente con otros basados en riqueza, podría ser utilizado como integrador de procesos eutróficos y orgánicos.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT), Proyecto G335/1 y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), PIP N° 0871/98.

## BIBLIOGRAFÍA

- APHA. 1992. *Métodos Normalizados. Para el análisis de aguas potables y residuales*. 17ava. Díaz de Santos, Madrid.
- CAIRNS, J. (Jr.), G.R. LANZA & B. C. PARKER. 1972. Pollution related structural and functional changes in aquatic communities with emphasis on freshwater algae

and protozoa. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia* 124: 79-127.

- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. 1980. Estudio integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Salí-Dulce. Tomo 3. Ed. del CFI (reimpresión), Buenos Aires.
- ELSTER, H. J. 1966. Über die limnologischen und Grundlagen der biologischen Gewässer-beurteilung in Mitteleuropa. *Verh. int. Ver. Limnol.* 16: 759-785.
- GLORIA, N. A. & J. ORLANDO. 1983. Aplicação da vinhaça como fertilizante. *Boletín Técnico Planal Sucar* 5: 6-36.
- GÓMEZ, N. & M. LICURSI. 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecol.* 5: 173-181.
- KOTHÉ, P. 1962. Der "Artenfehlbetrag", ein einfaches Gütekriterium und seine Anwendung bei biologischen Vorfluteruntersuchungen. *Dt. Gewässerkundl. Mitt.* 6: 60-65.
- MINETTI, J. L., RAMIREZ, M. G. & L. C. SUAREZ. 1979. Balance hidrológico de la cuenca y subcuencas del río Salí. *Public. Miscelánea* 64: 1-53. Estac. Exper. Agroindus. "Obispo Colombes". Tucumán.
- MIRANDE, V. & B. C. TRACANNA. 1995. Estudio cualitativo del fitoplancton del embalse Río Hondo (Argentina): I. *Criptogamie, Algol.* 16: 211-232.
- MIRANDE, V. & B. C. TRACANNA. 2003. El fitoplancton del río Gastona (Tucumán, Argentina) y su relación con la calidad del agua. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 38: 51-64.
- MIRANDE, V. & B. C. TRACANNA. 2004. Riqueza del fitoplancton en el río Gastona (Tucumán, Argentina): II. Diatomeas. *Lilloa* 41: 93-146.
- MIRANDE, V. & B. C. TRACANNA. 2004. Fitoplancton del río Gastona (Tucumán, Argentina). Cyanophyta, Chlorophyta, Euglenophyta y Rhodophyta. *Iheringia, Sér. Bot.* 59: 33-56.
- MIRANDE, V., ROMERO, N., BARRIONUEVO, M. A., MEONI, G. S. B., NAVARRO, M. G., APELLA, M. C. & B. C. TRACANNA. 2000. Human impact some limnological characteristics of the Gastona River (Tucumán, Argentina). *Acta Limnol. Brasil.* 11: 101-110.
- MORAÑA, L. B., 1998. Estudio de la calidad del agua en un subsistema de ríos de la provincia de Salta sometida a acción antrópica. Tesis de Magíster, Universidad Nacional del Litoral.
- NYGAARD, G. 1949. Hydrobiological studies in some ponds and lakes. Part II. The quotient hypothesis and some new or little known phytoplankton organisms. *Kogl. Danske Vidensk. Selsk., Biol. Skr.* 7: 1-293.
- PATRICK, R. 1973. Use of Algae, especially Diatoms, in the assessment of water quality. In: Cairns, J. Jr. & Dickson, K. L. (eds.), *Biological Methods for the Assessment of Water Quality*. American Soc. for Testing and Materials. Philadelphia, pp. 23-47.

- PIELOU, E. C. 1966 a. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. *Amer. Nat.* 100: 463-465.
- PIELOU, E. C. 1966 b. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* 13: 131-144.
- RODIER, J. 1981. *Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar.* Omega, Barcelona.
- RODIER, J. 1989. *Análisis de las aguas.* Omega, Barcelona.
- SCHÄFER, A., 1985. *Fundamentos de ecología e biogeografía das águas continentais.* Ed. da Universidade, Porto Alegre.
- SEELIGMANN, C. T. 1998. Evaluación de la estructura y dinámica ficológica en el río Salí (Tucumán-Argentina), en relación al impacto de la contaminación antropogénica. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán.
- THUNMARK, S. 1945. Zur Soziologie des Süßwasserplanktons. Eine methodologisch-ökologische Studie. *Folia Limnol. Scand.* 3: 1-66.
- TRACANNA, B. C., MIRANDE, V. & C. SEELIGMANN. 1994. Variaciones del fitoplancton superficial del embalse Río Hondo (Tucumán-Santiago del Estero, Argentina), en relación a la actividad azucarera. *Tankay* 1: 80-82.
- TRACANNA, B. C., SEELIGMANN, C. & V. MIRANDE. 1996. Estudio comparativo de la comunidad fitoplanctónica de dos embalses del Noroeste Argentino. *Revista Asoc. Ci. Nat. Litoral* 27: 13-22.
- VOLLENWEIDER, R. A. 1974. Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. IBP N° 12. *Inter. Biol. Programme* 7. Marylebone Road, Oxford, London, Edinburgh, Melbourne.
- WETZEL, R. G. 1981. *Limnología.* Omega, Barcelona.

Recibido el 29 de Octubre de 2004, aceptado el 18 de Agosto de 2005.