

FITOPLANCTON DE LOS PRINCIPALES CAUCES Y TRIBUTARIOS DEL VALLE ALUVIAL DEL RIO PARANA (TRAMO GOYA— DIAMANTE), IV: ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES Y FACTORES COMUNES *

María Ofelia García de Emiliani **

Instituto Nacional de Limnología
J. Maciá 1933 - 3016 Santo Tomé (S. Fe)
Argentina

RESUMEN

García de Emiliani, M. O. - 1986. Fitoplancton de los principales cauces y tributarios del valle aluvial del río Paraná (tramo Goya - Diamante), IV: análisis de componentes principales y factores comunes. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 17 (1): 51 - 61

Se aplicaron los análisis de componentes principales y de factores comunes a un conjunto de variables ambientales y del fitoplancton (caudal, conductividad, pH, oxígeno disuelto, fitoplancton total, Euclochrophyceae, Cyanophyceae, Euglenophyceae, Dinophyceae, *Cryptomonas* pl. sp., *Cyclotella* pl. sp. y *Melosira* pl. sp.), estimadas en 25 puntos de muestreo de diferentes cursos de agua del valle aluvial del Paraná medio: cauces principal, secundarios y tributarios.

Las estaciones de muestreo están situadas en un tramo de 440 km, entre Goya (29° 10' lat. S. y 50° 15' long. W) y Diamante (32° 05' lat. S y 60° 40' long. W). Las muestras fueron tomadas durante 2 periodos hidrológicos: aguas medias (diciembre/1981, nivel hidrométrico en Diamante = 2,3 - 3,2 m) y aguas altas (marzo-abril/1982, nivel hidrométrico en el mismo Puerto = 4,6 - 4,8 m)

Las tres primeras componentes explicaron el 74 % de la varianza total de los datos. La primera —con un 44 % de varianza— puede ser interpretada como la influencia negativa del caudal (relacionado negativamente con la conductividad y el pH) sobre el fitoplancton (especialmente sobre Euglenophyceae, Euclochrophyceae y Dinophyceae). Los grupos de cuerpos de agua obtenidos coinciden con los tipos geomorfológicos: cauces principal, secundarios y tributarios. La segunda componente —con un 20 % de varianza— puede ser interpretada como un factor estacional relacionado especialmente con la concentración de oxígeno y *Melosira* pl. sp. Los cambios de estas variables fueron observados principalmente en los cursos de agua de bajo caudal (secundarios y tributarios). La tercer componente —con un 10 % de varianza— está relacionada fundamentalmente con *Cyclotella* pl. sp. Los cambios en la concentración de *Cyclotella* pl. sp. fueron más importantes entre las 2 campañas en los cauces principal y secundarios.

Además, el análisis de factores comunes explicó el 74 % de la varianza con los 3 primeros factores. Estos factores tuvieron prácticamente las mismas cargas con las variables que las primeras 3 componentes. No obstante, la más alta carga negativa de *Melosira* pl. sp. con el factor 1 resultó interesante debido a que esta alga tiene las mayores concentraciones en los ríos con comparativamente elevado caudal.

* Presentado en las II Jornadas de Cienc. Nat. Litoral, Paraná, 8-11 agosto 1984. Las notas anteriores fueron publicadas en la *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 12: 112-125 (1981); 14: 179-191 (1983) y 16 (1): 95 - 112 (1985)

** Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

ABSTRACT

García de Emiliani, M. O. 1986. Phytoplankton of the main water courses and tributaries of the alluvial valley of the Middle Paraná river (stretch Goya—Diamante), IV: Principal components and common factors analysis. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 17 (1): 51 — 61

Principal components and common factors analysis were applied to a set of environmental and phytoplankton variables (water discharge, conductivity, pH, oxygen, phytoplankton total, Euchlorophyceae, Cyanophyceae, Euglenophyceae, Dinophyceae, *Cryptomonas* pl. sp., *Cyclotella* pl. sp. and *Melosira* pl. sp.), measured in 25 sampling stations of different water courses of the Middle Paraná's floodplain: main channel, secondaries and tributaries water courses.

Sampling stations are situated in a stretch of 440 km between Goya (29° 10' lat. S and 50° 15' long. W) and Diamante (32° 05' lat. S and 60° 40' long. W). Samples were collected during two hydrological periods: mean water (December/1981, hydrometric level at Diamante = 2.3 — 3.2 m) and high water (March—April/1982, hydrometric level = 4.6 — 4.8 m).

The first three components account for 74% of the total variance in the data. The first—with 44% of the variance— can be interpreted as the negative influence of water discharge (negatively related with conductivity and pH) over the development of phytoplankton (specially Euglenophyceae, Euchlorophyceae and Dinophyceae). Groups of water courses obtained are agree to the geomorphological types: main channel, secondaries water courses and tributaries water courses. The second component—with 20% of the variance— can be interpreted as a seasonal factor related with oxygen and *Melosira* pl. sp. concentrations. Changes in these variables were specially observed in water courses with lower discharge (secondaries and tributaries courses). The third component—with 10% of the variance— is related with *Cyclotella* pl. sp. Changes in *Cyclotella* concentration were more important between the two sampling periods in the main channel and secondaries courses.

In addition, the common factor analysis accounted for 74% of the variance with three factors. These factors had practically the same loadings with the variables as had the first three principal components. However, the higher negative loadings of *Melosira* with the factor I resulted interesting because this algae has the higher concentration in rivers with comparatively large discharge.

INTRODUCCION

En las notas anteriores se describieron las características del fitoplancton y de algunas variables ambientales en el cauce principal del Paraná y los más importantes cauces secundarios y tributarios, durante dos condiciones hidrológicas. También se evaluó, en forma separada para cada período hidrológico, el grado de asociación entre las muestras (matriz Q) mediante la obtención de coeficientes de similitud y la aplicación de métodos de agrupamiento que permitieron distinguir grupos de ambientes lóticos que, en líneas generales, coincidieron con los tipos geomorfológicos: cauces principal, secundarios y tributarios.

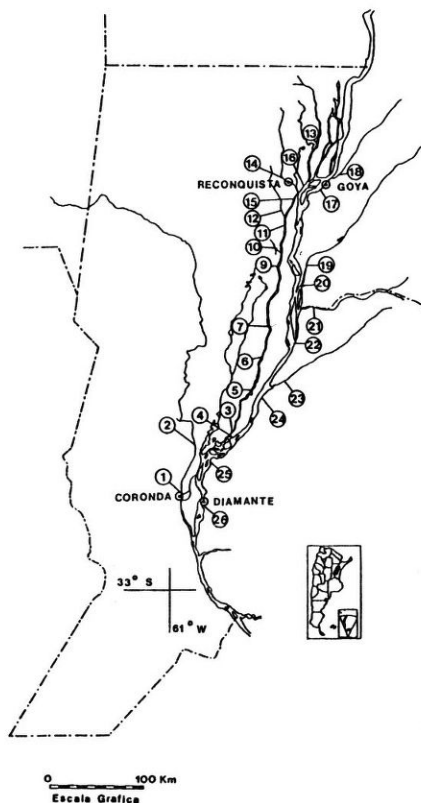
La presente contribución tiene como objetivo complementar la información anterior describiendo, además, las relaciones más importantes existentes en el conjunto de descriptores del fitoplancton y ambientales, mediante la utilización de dos métodos factoriales: el análisis de componentes principales y el de factores comunes.

Como antecedentes de trabajos se pueden citar, además de las notas anteriores sobre el tema general, uno específicamente referido a la aplicación del método de componentes principales a datos del fitoplancton y ambientales en una laguna del valle de inundación del Paraná medio⁴.

MATERIAL Y METODOS

La zona de estudio fue, como ya se expresara, la comprendida entre las localidades de Goya (29° 10' lat. S y 50° 15' long. W) y Diamante (32° 05' lat. S y 60° 40' long. W), en la cual se ubicaron 25 puntos de muestreo (fig. 1) que se analizaron durante un período de aguas medias (diciembre/1981, nivel hidrométrico en Diamante = 2,3 – 3,2 m) y uno de aguas altas (marzo–abril/1982, nivel hidrométrico en el mismo Puerto = 4,6 – 4,8 m).

Los datos básicos ya fueron presentados explícitamente^{3,5}, por lo que sólo se muestran (Cuadro 1) los valores promedios y coeficientes de variación de los descripto-



Cauces secundarios

1. Río Coronda (Coronda)
3. Río San Javier (Santa Rosa)
4. Río Santa Rosa (Santa Rosa)
5. Río San Javier (Helvecia)
6. Río San Javier (Saladero Cabal)
7. Río San Javier (San Javier)
9. Río San Javier (Alejandra)
11. Río San Javier (Romang)
15. Río San Javier (Reconquista)
16. Río San Jerónimo (Reconquista)

Cauces tributarios de la margen derecha

2. Río Salado (Santo Tomé)
10. Arroyo del Ombú (al N. de Alejandra)
12. Arroyo Mal Abrigo (al N. de Romang)
13. Río Los Amores (Las Garzas)
14. Arroyo del Rey (Reconquista)

Cauces tributarios de la margen izquierda

18. Río Santa Lucía (Paso Rubio)
19. Río Corriente (Paso Santa Rosa)
21. Río Guayquiraró (Paso Telégrafo)
23. Río Feliciano (Paso Quebracho)

Cauce principal

17. Río Paraná (Goya)
20. Río Paraná (Esquina)
22. Río Paraná (La Paz)
24. Río Paraná (Hernandarias)
25. Río Paraná (Paraná)
26. Río Paraná (Diamante)

Fig. 1: Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en los cauces del tramo Goya–Diamante.

CUADRO 1

Promedios y coeficientes de variación (O/o) de los valores de las variables utilizadas en los análisis de componentes principales y factores comunes, en los distintos tipos de cauces en las 2 campañas (I y II).

CAUCES		PRINCIPAL		SECUNDARIOS		T. IZQUIERDA		T. DERECHA	
		\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV
Caudal (Q, m ³ .seg ⁻¹)	I	8733	72	248	159	19	82	14	160
	II	12000	77	475	123	46	149	9	165
Conductividad (C, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	I	74	7	455	40	892	70	3960	57
	II	80	21	203	30	841	95	3082	77
pH	I	7,2	1	7,4	3	7,7	3	7,8	5
	II	7,3	1	7,0	5	7.6	5	7,6	6
Oxígeno (O ₂ , mg.l ⁻¹)	I	8,2	1	8	7	8,5	6	7,4	30
	II	7,3	5	5	41	8,0	28	5,5	73
Fitoplancton total (F, cel.ml ⁻¹)	I	726	27	1360	60	2286	27	1081	49
	II	222	36	804	145	2378	59	1877	91
Euchlorophyceae (EUC, cel.ml ⁻¹)	I	47	34	59	170	1062	66	250	93
	II	23	79	64	87	618	99	349	139
Cyanophyceae (CIA, cel.ml ⁻¹)	I	20	124	28	84	310	67	114	172
	II	36	55	25	186	319	84	42	112
Euglenophyceae (EUG, cel.ml ⁻¹)	I	19	183	15	146	47	51	268	138
	II	2	159	8	109	176	81	424	100
Dinophyceae (DIN, cel.ml ⁻¹)	I	1	245	2	212	6	200	62	64
	II	1	245	11	119	58	70	201	121
<u>Cryptomonas</u> pl.sp. (CRY, cel.ml ⁻¹)	I	66	150	56	63	133	88	115	61
	II	41	43	108	72	344	66	664	88
<u>Cyclotella</u> pl.sp. (CY, cel.ml ⁻¹)	I	13	103	725	105	142	136	156	96
	II	3	125	31	191	225	138	65	120
<u>Melosira</u> pl.sp. (MEL, cel.ml ⁻¹)	I	464	54	324	49	112	73	11	146
	II	90	67	332	270	195	155	10	223

Abreviatura: T. = Tributarios margen

res ambientales y del fitoplancton en los distintos tipos de cauces: caudal, conductividad, pH, oxígeno disuelto, fitoplancton total, Euchlorophyceae, Euglenophyceae, Cyanophyceae, Dinophyceae, *Cryptomonas* pl. sp., *Melosira* pl. sp. y *Cyclotella* pl. sp.

Para la aplicación de los dos métodos de análisis multivariado los datos originales fueron normalizados mediante transformación logarítmica ($\ln x + 1$), excepto los de pH y oxígeno que tenían distribuciones normales; posteriormente se estandarizaron (media = 0, varianza = 1). Las componentes con valor propio mayor que 1 fueron consideradas interpretables en términos ecológicos^{6,9}. La descripción detallada de la teoría y cálculos de estos métodos factoriales puede consultarse en Gauch *et al.*² Lefebvre⁸ o Morrison¹⁰.

Para la realización de este trabajo se utilizó el programa P4M de los Manuales BMDP¹, que permite la obtención de las componentes principales y, por rotación ortogonal varimax, los factores comunes. Se utilizó una computadora DIGITAL VAX/VMS del Servicio Centralizado de Computación del CERIDE (CONICET).

RESULTADOS Y DISCUSION

Componentes principales

Los resultados de este análisis han permitido reducir las 12 dimensiones originales a 3 que explican el 74% de la varianza total.

El 44% de la variación total de los datos es explicada por la primer componente, la cual se correlaciona significativamente en forma negativa con caudal y *Melosira* pl. sp. y en forma positiva con las restantes variables, excepto oxígeno y *Cyclotella* pl. sp. La correlación con estos 2 últimos descriptores es positiva pero no significativa (fig. 2).

Esta componente ordena a los ambientes lóticos de acuerdo al grado de mineralización de sus aguas, en relación inversa con el caudal. Las variables biológicas más estrechamente asociadas de manera directa son la concentración de Euglenophyceae, Euchlorophyceae, Dinophyceae y fitoplancton total.

La ubicación de las muestras según esta dimensión (fig. 3 A y B) permite distinguir en el extremo negativo al cauce principal y en el positivo a los cauces tributarios de la margen derecha, con poca diferenciación entre las 2 campañas. En la parte central (entre -1 y + 1) se sitúan los cauces secundarios y los tributarios de la margen izquierda.

Generalizando, se puede expresar que si bien no existe una clara formación de grupos, es posible asociar el ordenamiento resultante con la clasificación geomorfológica de los ambientes lóticos: cauces principal, secundarios y tributarios, independientemente de las variaciones hidrológicas entre las 2 campañas.

La segunda componente explica un 20% de la varianza total y está definida, en especial, por su relación directa con el tenor de oxígeno disuelto y la concentración de *Melosira* pl. sp. El fitoplancton total y *Cyclotella* pl. sp. también se correlacionan positivamente con esta componente pero con menor magnitud (Fig. 1).

La ubicación de las muestras según esta dimensión (Fig. 3A y C) permite observar, en la parte positiva, los tributarios de la margen izquierda y 2 de la derecha (arroyos del Ombú y Mal Abrigo); en la parte negativa, se sitúan las muestras de la segunda campaña de los cauces secundarios y 3 tributarios de la margen derecha (ríos Salado y Los Amores y Arroyo del Rey); en la parte central se presentan los restantes cauces con muy poca dispersión de los valores.

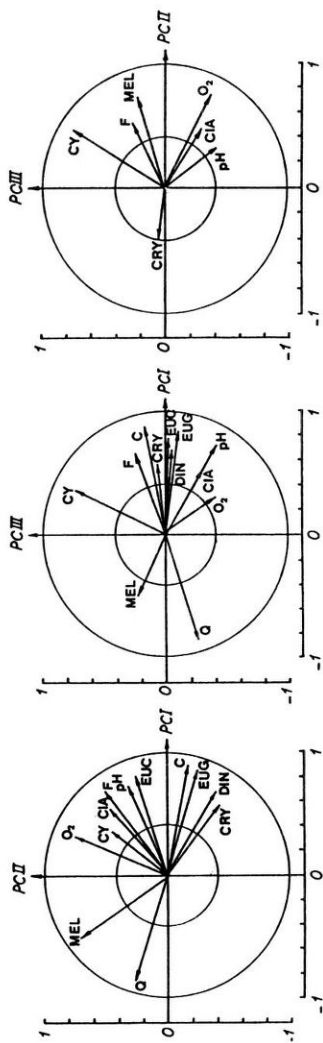


Fig. 2: Posición de los descriptores de acuerdo a las 3 primeras componentes tomadas de a 2. Las proyecciones del extremo de cada variable son los factores de carga de esa variable con las componentes. El círculo exterior es el círculo unidad (máxima correlación) y el interior es el de contribución equilibrada ($\sqrt{2/12} = 0,41$). Referencias: los nombres completos de las variables pueden obtenerse del Cuadro 1.

Esta componente se considera indicadora de un fenómeno estacional que se registra con mayor intensidad en los cauces menos caudalosos (secundarios y tributarios), al variar las condiciones hidrológicas y que se manifiesta, principalmente por cambios en la oxigenación de las aguas y en la concentración de *Melosira* pl. sp.

La tercer componente, que explica un 10^o/o de la varianza total, tiene una alta correlación positiva con *Cyclotella* pl. sp. (fig. 2). Las muestras que tienen más peso en definirla positivamente fueron las de la primera campaña de los cauces secundarios y algunos tributarios de la margen izquierda (ríos Santa Lucía y Corriente), en tanto que el mayor peso en la parte negativa se debió, de manera especial, a las de la segunda campaña del cauce principal, unas pocas de los cauces secundarios y al arroyo del Ombú, tributario de la margen derecha (Fig. 3B y C).

Esta componente discrimina subgrupos dentro de los formados por los cauces secundarios y el principal, integrados por las muestras de cada campaña.

Sintetizando se puede expresar que los resultados del análisis de componentes principales permitieron relacionar las variaciones de los descriptores ambientales con las del fitoplancton. De manera especial se apreció la asociación de las variables caudal, conductividad y pH con las concentraciones de fitoplancton total, Euglenophyceae, Eulichlorophyceae y Dinophyceae (primera componente). También, se observó la formación de grupos de ambientes que se ordenan, sobre la base de los descriptores utilizados, en coincidencia con los tipos geomorfológicos de cauces, si bien con algunas excepciones (por ejemplo, el río San Jerónimo es un cauce secundario que se aproxima más al grupo cauce principal).

Por otra parte, se puso de manifiesto la relación existente entre la oxigenación de las aguas y la concentración de *Melosira* pl. sp. (segunda componente), la que se expresa con mayor magnitud en los cauces menos caudalosos al variar las condiciones hidrológicas y fenómenos conexos.

La tercer componente representa, simplificada, las variaciones en la concentración de la otra diatomea central de importancia en los cauces estudiados: *Cyclotella* pl. sp.

La expresión gráfica bidimensional según las componentes I y III (Fig. 3B), contrasta los cauces caudalosos, poco mineralizados, con las mayores concentraciones de *Melosira* pl. sp. y las menores de *Cyclotella* pl. sp. (cauce principal, primera campaña) con los menos caudalosos, muy mineralizados y escasa concentración del género *Melosira* (tributarios de la margen derecha).

Factores comunes

Este método factorial consiste esencialmente en simplificar la búsqueda de las relaciones entre los descriptores mediante la utilización del criterio de rotación varimax de los ejes⁷, que maximiza la varianza de los factores de carga para cada factor. La explicación de la naturaleza de cada factor será, obviamente, mucho más simple si intervienen pocos descriptores con saturaciones fuertes.

En la expresión gráfica de los resultados obtenidos (Fig. 4), en comparación con los del análisis de componentes principales (Fig. 2), puede observarse que las variables caudal, conductividad, Euglenophyceae, Dinophyceae y *Cryptomonas* pl. sp. tienen cargas similares con la primer componente y el primer factor, diferenciándose éste último por maximizar la de *Melosira* pl. sp. y minimizar las de pH, Eulichlorophyceae y Cyanophyceae. El segundo factor maximiza las cargas de pH, oxígeno disuelto y Cyanophyceae, en tanto que el tercero, las de *Cyclotella* pl. sp. y fitoplancton total.

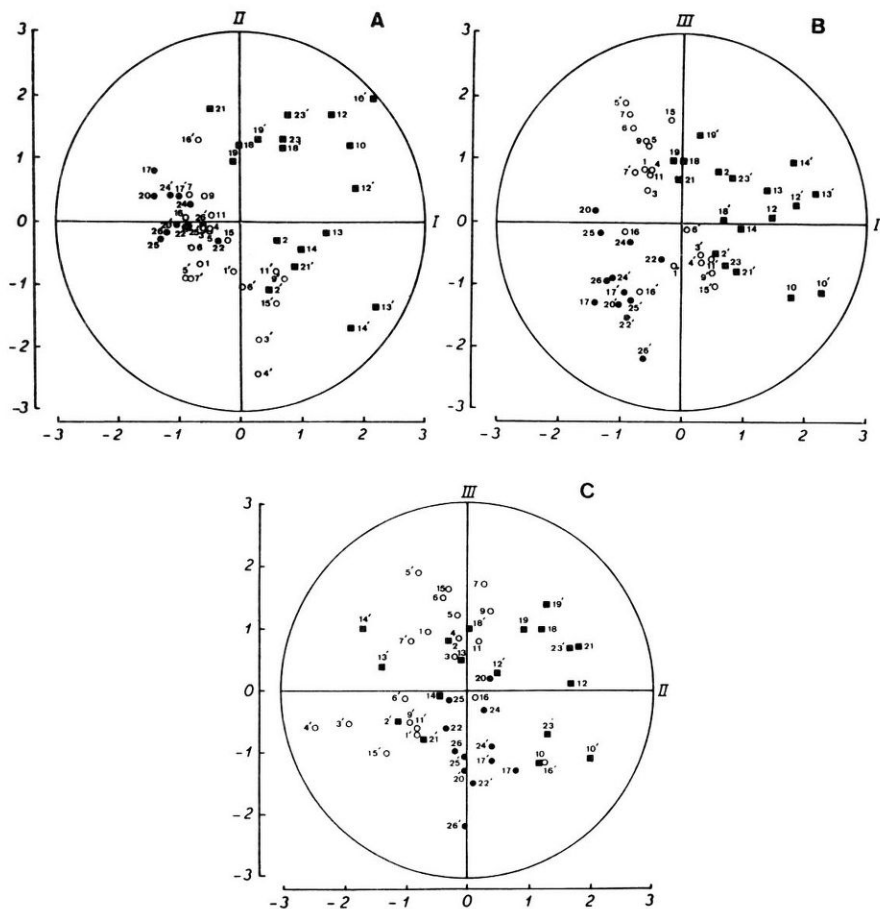


Fig. 3: Posición de las muestras en el plano determinado por las componentes principales tomadas de a dos: A, según I y II, B, I y III, C, II y III. Las muestras llevan el número asignado en la Fig. 1, diferenciándose las de la segunda campaña con un apóstrofe.

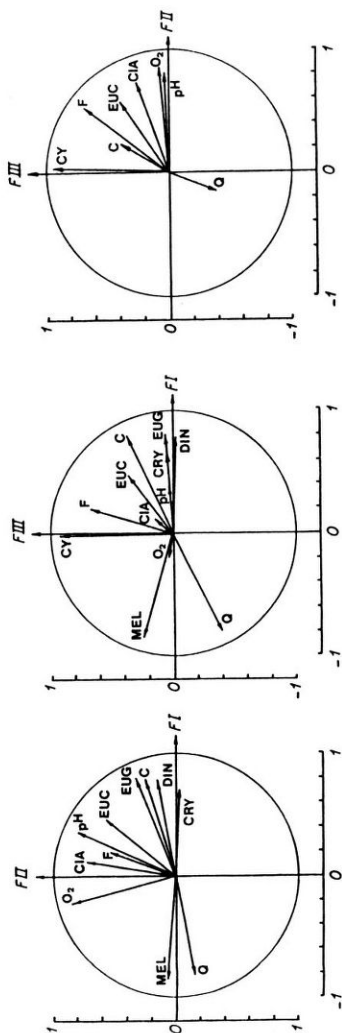


Fig. 4. Posición de los descriptores de acuerdo a los tres primeros factores comunes tomados de a dos. Los ejes de esta figura resultan de la rotación ortogonal varimax de los ejes de la figura 2.

CUADRO 2

Comunalidad de cada variable obtenida a partir de los 3 primeros factores. Los nombres de las variables se indican en el Cuadro 1.

Q	0,845	O ₂	0,792	EUC	0,695	DIN	0,645
pH	0,788	F	0,765	CIA	0,579	CRY	0,494
C	0,818	CY	0,849	EUG	0,765	MEL	0,825

Los valores de comunalidad obtenidos a partir de los 3 factores retenidos (Cuadro 2), muestran que la mayor parte de los descriptores tienen una elevada fracción de la varianza explicada por los factores comunes; sólo *Cryptomonas* pl. sp. presenta una proporción más importante ligada a los factores específicos.

El porcentaje total de varianza explicada por los 3 primeros factores comunes es del 74%, coincidentemente el mismo valor obtenido como suma de la varianza explicada por las 3 primeras componentes principales. No obstante, los valores individuales fueron ligeramente distintos: 35% para el primer factor, 23% para el segundo y 16% para el tercero.

Las diferencias observadas en los resultados de la aplicación de este método con respecto al de componentes principales no introducen mayor información para la interpretación ecológica de las relaciones entre las variables. Resulta interesante, no obstante, la más estrecha asociación entre caudal y *Melosira* pl. sp., puesto que es mundialmente conocida la abundancia de este género en los ríos caudalosos y poco mineralizados, particularmente de *Melosira granulata* que es la especie más representativa en los cauces del Paraná. También cabe agregar que la más fuerte saturación del pH en el segundo factor, asociada con el oxígeno, Cyanophyceae y Euchlorophyceae, ilustra más claramente el cambio estacional que se opera con mayor magnitud en los ríos menos caudalosos y más productivos.

Por último es de mencionar que, como en este caso, cuando se plantea un modelo relativamente sencillo, con unas pocas fuertes direcciones de variación, el método de componentes principales se constituye en un valioso auxiliar. Permite, por un lado, expresar en el espacio reducido el conjunto de la varianza de la matriz de datos y hacer exactas conversiones entre componentes y variables y, por el otro, graficar la posición relativa de los objetos, que resulta, generalmente, de gran ayuda en la interpretación ecológica.

Cuando los patrones de variación de la matriz de datos son complejos, la información de interés ecológico puede permanecer oculta y puede ser puesta de manifiesto mediante la aplicación del método de factores comunes.

AGRADECIMIENTO

A la Lic. María Beatriz Quiros del Servicio Centralizado de Computación del CERIDE por su valioso asesoramiento en el trabajo de computación.

BIBLIOGRAFIA

1. Dixon, W. J., 1981. BMDP statistical software. *Univ. California Press, Berkeley*, 720 p.
2. Gauch, H. G., R. H. Whittaker y T. R. Wentworth, 1977. A comparative study of reciprocal averaging and other ordination techniques. *J. Ecol.*, 65: 157–174.
3. García de Emiliani, M.O., 1981. Fitoplancton de los principales cauces y tributarios del valle aluvial del río Paraná: tramo Goya—Diamante, I. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 12: 112–125
4. García de Emiliani, M.O. y P. Depetris, 1982. A principal components analysis of the phytoplankton from a pond in the Parana river valley, Argentina. *Hydrobiologia*, 89: 117 – 122.
5. García de Emiliani, M.O., 1985. Fitoplancton de los principales cauces y tributarios del valle aluvial del río Paraná: tramo Goya—Diamante, III. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 16 (1) 95 – 112.
6. Ibanez, F., 1973. Méthode d'analyse spatio-temporelle du processus d'échantillonnage en plantologie, son influence dans l'interprétation des données par l'analyse en composantes principales. *Ann. Inst. Oceanogr. Paris*, 49: 83 – 111.
7. Kaiser, H.F., 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23: 187– 200.
8. Lefebvre, J., 1976. Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles. *Masson, Paris*, 219 p.
9. Legendre, L y P. Legendre. 1979. Ecologie numérique. Vol. 2: La structure des données écologique. *Masson, Paris*, 425 p.
10. Morrison, D. F., 1976. Multivariate statistical methods. *Mc Graw Hill, New York*, 415 p.

Recibido / Received / : 12 abril 1985