

Fitoplancton y variables ambientales en cauces del Paraná Medio, Argentina : análisis de correlación canónica

María Ofelia GARCÍA DE EMILIANI (1)

RESUMEN

Se describen y discuten los resultados de tres aplicaciones (dos campañas juntas y cada una separadamente) del análisis de correlación canónica a un grupo de variables ambientales (caudal, conductividad, pH y oxígeno disuelto) y a otro de características del fitoplancton (fitoplancton total, *Euchlorophyceae*, *Cyanophyceae*, *Euglenophyceae*, *Dinophyceae*, *Cryptomonas* pl. sp., *Cyclotella* pl. sp. y *Melosira* pl. sp.).

Los datos originales del análisis fueron obtenidos en 25 estaciones de muestreo en diferentes ríos del Paraná Medio (cauce principal, secundarios y ríos tributarios), durante dos estados hidrológicos : aguas medias (Dic./1981) y aguas altas (mar-abril/1982).

La primer variable canónica ambiental (A_1) — representada por caudal (correlación positiva), conductividad y pH (correlaciones negativas) — explicó una alta proporción de la varianza (55-60%). La primer variable canónica del fitoplancton (F_1) estuvo caracterizada por *Euglenophyceae*, *Euchlorophyceae*, fitoplancton total y *Dinophyceae* (alta correlación negativa en las tres aplicaciones), *Melosira* (correlación positiva alta en aguas medias) y *Cryptomonas* (correlación positiva alta en aguas altas). F_1 explicó entre el 27-43% de la varianza de las medidas del fitoplancton (mínimo en aguas medias y máximo en aguas altas).

Además, A_1 explicó entre el 23,5-41% de la varianza de F_1 (máxima redundancia en aguas altas). No obstante, relativamente altas proporciones de la varianza de *Euglenophyceae* (30-77%), *Euchlorophyceae* (26-52%) y fitoplancton total (30-32%) fueron predecibles a partir de A_1 (máximo en aguas altas). También A_1 explicó un relativamente alto porcentaje de la varianza de *Melosira* (57% en aguas medias), *Dinophyceae* y *Cryptomonas* (59 y 50%, respectivamente en aguas altas).

Los más importantes cambios ambientales asociados con el represamiento de ríos (disminución del flujo y la turbulencia del agua y aumento de la sedimentación) sugieren que el funcionamiento de la futura Represa Paraná Medio incrementaría el fitoplancton en el agua embalsada y aguas abajo (especialmente *Euglenophyceae*, *Euchlorophyceae* y *Melosira*), de acuerdo a las tendencias actuales.

PALABRAS CLAVES : Agua dulce — Fitoplancton — Análisis estadístico — Ecología — Ríos — Argentina — América del Sur.

(1) Instituto Nacional de Limnología, J. Maciá 1933, 3016 Santo Tomé (Santa Fe, Argentina).

ABSTRACT

PHYTOPLANKTON AND ENVIRONMENTAL VARIABLES OF THE MIDDLE PARANÁ RIVERS, ARGENTINA :
CANONICAL CORRELATION ANALYSIS

The results of three applications (two surveys together and each one separately) of canonical correlation analysis to a set of environmental variables (water discharge, conductivity, pH and dissolved oxygen) and another set of phytoplankton characteristics (total phytoplankton, *Euchlorophyceae*, *Cyanophyceae*, *Euglenophyceae*, *Dinophyceae*, *Cryptomonas* pl. sp., *Cyclotella* pl. sp. and *Melosira* pl. sp.) are described and discussed.

Original data for the analyses were obtained in 25 sampling stations of different streams of the Middle Paraná (main channel, secondary channels and tributary rivers) during two hydrological seasons : mid-water level (December/1981) and high-water level (March-April/1982).

The first canonical variate of the environmental domain (A_1) — represented by discharge (positive correlation), conductivity and pH (negative correlations) — accounted for a high proportion of the variance (55-60%). The first canonical variate of the phytoplankton domain (F_1) was characterized by *Euglenophyceae*, *Euchlorophyceae*, total phytoplankton and *Dinophyceae* (high negative correlations on the three applications), *Melosira* (high positive correlation in mid-waters) and *Cryptomonas* (high negative correlations in high waters). F_1 accounted for 27-43% of the variance of the phytoplankton measures (minimum in mid-water level and maximum in high-water level).

Furthermore, A_1 accounted for between 23,5-41% of the variance of F_1 (strongest redundancy in high-water). However, relatively high proportions of the variance of *Euglenophyceae* (30-77%), *Euchlorophyceae* (26-52%) and total phytoplankton (30-32%) were predictable from A_1 (highest values in high-water level). Moreover, A_1 accounted for a relatively high percentage of the variance of *Melosira* (57% in midwater level), *Dinophyceae* and *Cryptomonas* (59 and 50%, respectively in high-water level).

Thus there are grounds for concluding that a canonical model of rank 1 identifies the distinctive ecological features of the data.

The more important environmental changes associated with impounding rivers (decrease of flow and water turbulence and increase of sedimentation) suggest that the future functioning of Paraná Medio reservoir would increase the phytoplankton of the impounded water and downstream (specially *Euglenophyceae*, *Euchlorophyceae* and *Melosira*) according to the present trends.

KEY WORDS : Freshwater — Phytoplankton — Statistical analysis — Ecology — Rivers — South America — Argentine.

RÉSUMÉ

LE PHYTOPLANKTON ET SON ENVIRONNEMENT DANS LES COURS D'EAU DU MOYEN PARANÁ, ARGENTINE :
ANALYSE CANONIQUE

Trois applications de l'analyse canonique (deux campagnes groupées et chacune séparément) ont porté sur les variables de l'environnement (débit, conductivité, pH et O_2 dissous) et les caractéristiques du phytoplancton (total, *Euchlorophyceae*, *Cyanophyceae*, *Euglenophyceae*, *Dynophyceae*, *Cryptomonas* pl. sp., *Cyclotella* pl. sp. et *Melosira* pl. sp.).

Les données proviennent de 25 stations de différents cours d'eau du Paraná Moyen, lit principal, chenaux secondaires et affluents, pour un niveau moyen (décembre 1981) et un niveau haut de l'eau (mars-avril 1982).

Le premier axe du domaine de l'environnement (A_1), correspondant au débit (corrélation positive) et la conductivité — pH (c. négative), explique entre 55 et 60% de variance.

Le premier axe du domaine phytoplanctonique (F_1) regroupe les *Euglenophyceae*, les *Euchlorophyceae*, le phytoplancton total et les *Dynophyceae* (c. négative), *Melosira* (c. positive en niveau moyen) et *Cryptomonas* (c. négative) en hautes eaux). F_1 explique de 27 à 43% de la variance du phytoplancton.

De plus A_1 explique 23 à 41% de F_1 (max. en hautes eaux). De fortes proportions de la variance des *Euglenophyceae* (30 à 77%), des *Euchlorophyceae* (26 à 52%) et du phytoplancton total (30 à 32%) sont prédites par A_1 , qui explique aussi un fort pourcentage des variances de *Melosira* (57%), *Dinophyceae* et *Cryptomonas* (59 et 50% en hautes eaux).

On a montré ainsi que l'analyse canonique de rang 1 permet d'identifier les caractères écologiques du milieu, et indique que l'implantation prévue du barrage sur le Paraná Moyen risque d'augmenter le phytoplancton total, et en particulier les *Euglenophyceae*, *Euchlorophyceae* et *Melosira*, aussi bien dans la retenue qu'en aval.

MOTS-CLÉS : Eau douce — Phytoplancton — Écologie — Analyse statistique — Rivières — Amérique du Sud — Argentine.

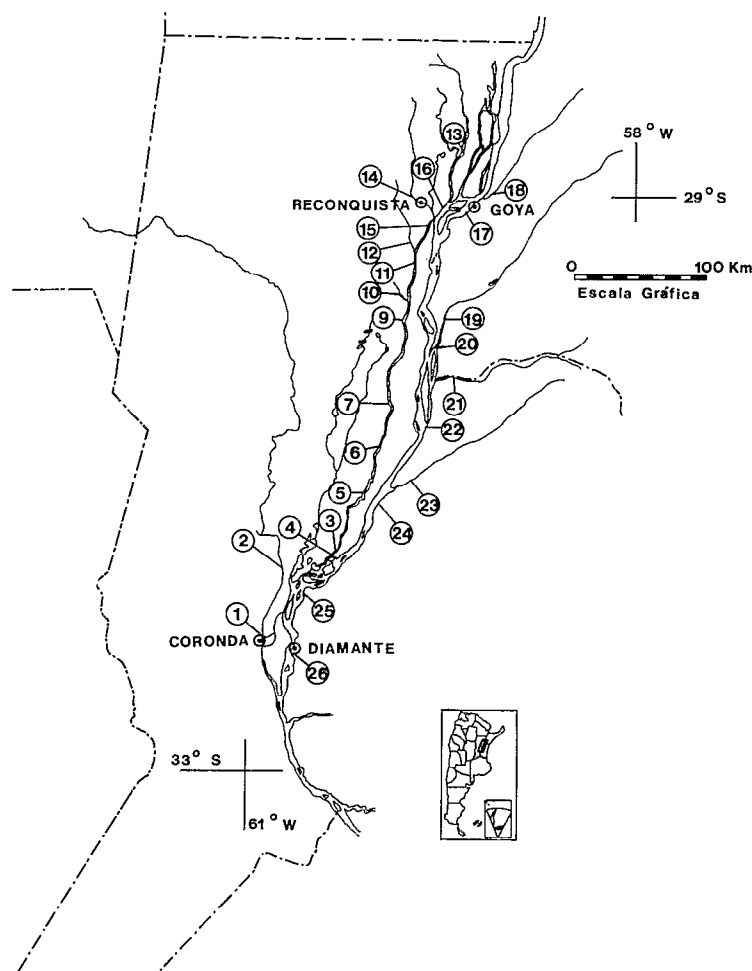
INTRODUCCION

El sistema del río de La Plata, integrado por las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay, constituye la segunda cuenca de drenaje más grande de América del Sur (3,2 millones de km²), después de la del Amazonas. El río Paraná es el más significativo, tanto por su longitud (aproximadamente 4000 km) como por su caudal (módulo medio anual = 16 000 m³.seg⁻¹) y su cuenca de captación (2,8 millones de km²).

Junto a esta importancia cuantitativa existe una cualitativa debido a que atraviesa zonas de distintas características (vegetación, topografía y edafología) desde su nacimiento en la Serra do Preneos (Brasil, 15° 30' lat. S.). Además, debido a que su dirección

predominante es la N-S, más significativo resulta el cambio climático : tropical, con lluvias mayormente estivales en el Alto Paraná y subtropical caluroso templado en el Paraná Medio e Inferior (OEA, 1969). El río Alto Paraná difiere marcadamente en sus rasgos geomorfológicos del Paraná Medio e Inferior, ya que pasa de un encauzamiento con rápidos y saltos al desarrollo de un amplio valle aluvial de hasta 50 km de ancho.

El cauce principal del Paraná Medio tiene una alta barranca izquierda mientras que la derecha, con límites poco precisos, es fácilmente inundable. Su llanura aluvial, de más de 20 000 km², recibe el aporte de importantes tributarios y posee numerosos cauces secundarios que dan lugar a un complejo diseño morfológico con meandros y anastomosis que encierran ambientes leníticos muy diversos.

*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 cursos de agua del valle aluvial del Paraná Medio (tramo Goya-Diamante). Los números indican las estaciones de muestreo (ver referencias). *Geographical position of water courses of the Middle Paraná's alluvial valley (stretch Goya-Diamante). Numbers indicate sampling stations (to see reference)*

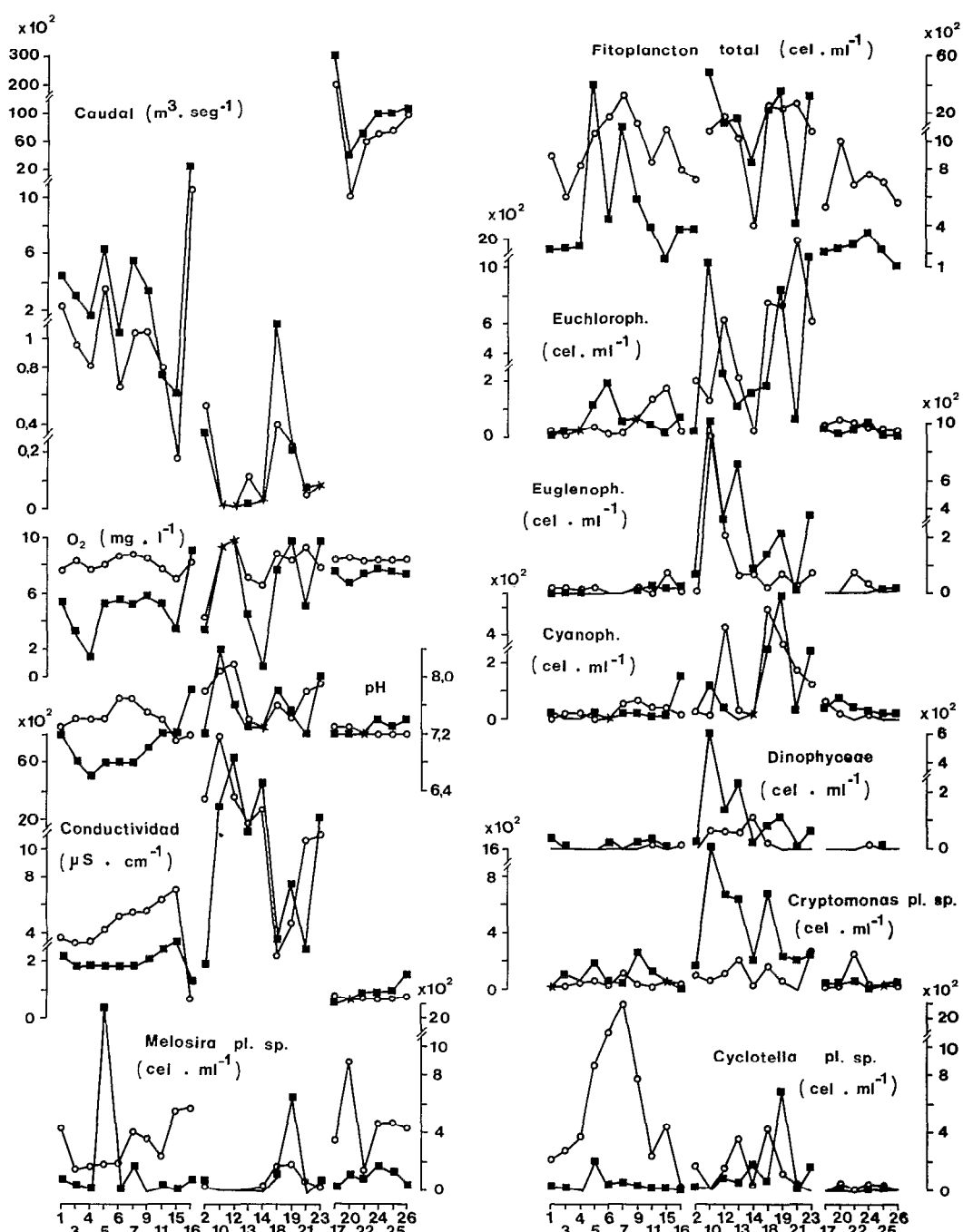


FIG. 2. — Datos ambientales y del fitoplancton medidos durante el periodo de aguas medias (círculos) y aguas altas (cuadrados) en los cursos de agua del valle aluvial del Paraná Medio : cauces secundarios (1-16), tributarios (2-23) y principal (17-26). Los números corresponden a las estaciones de muestreo de la fig. 1; las estrellas indican coincidencia de los valores de aguas medias y altas. Environmental and phytoplankton data measured during mid water (circles) and high water periods (squares) in water courses of the Middle Paraná's floodplain : secondary water courses (1-16), tributaries (2-23) and main channel (17-26). Numbers indicate sampling stations (reference in fig. 1) and stars indicate coincidence of mid and high water values

Esta compleja «arquitectura» del Paraná Medio, junto con el régimen hidrológico son los principales condicionantes de la estructura y funcionamiento del ecosistema del cauce principal y de los diversos componentes lóticos y leníticos de la llanura aluvial.

El limnigrama típico del cauce principal en el tramo medio (Soldano, 1947) está caracterizado por un período de creciente, con altura máxima a fines de verano (febrero-marzo) y uno de bajante a partir de otoño, con estiajes mínimos en primavera (octubre, noviembre). Este ciclo sufre lógicas variaciones año tras año, a consecuencia del régimen pluvial de la cuenca superior. Además, en los últimos años también se han verificado alteraciones debidas a la construcción de represas aguas arriba.

Este trabajo fue planificado en relación a la proyectada Represa Paraná Medio que comprende un Cierre Norte, a la altura de Reconquista-Goya (fig. 1); un Cierre Sur, a la altura de las Islas del Chapeón (unos 100 km aguas arriba de la ciudad de Diamante) y un Cierre Lateral, en la margen derecha que se extiende desde el Cierre Sur hasta prácticamente el Norte. El espejo de agua del futuro embalse se estima en 8500 km².

Debido a que su construcción no sólo afectará al cauce principal, sino también a importantes cauces secundarios y el aporte de tributarios, el estudio se llevó a cabo en distintos tipos de cauces de la zona a represar y unos 100 km aguas abajo (hasta Diamante), con el propósito de abarcar el área que sufrirá el mayor impacto con la obra.

Según el modelo hidrológico elaborado por la empresa Agua y Energía Eléctrica, responsable del proyecto, el funcionamiento de la represa no tendría efectos sobre el flujo aguas abajo durante el período de caudales elevados (30 % del año); con menor caudal (70 % del año), habría una reducción del flujo que llegaría a ser crítica durante la estación seca (10 % del año).

El objetivo fundamental de este trabajo, de carácter exploratorio, fue el de conocer las relaciones existentes entre parámetros propios del fitoplancton y variables ambientales en distintos tipos de cursos de agua, bajo diferentes condiciones hidrológicas (aguas medias y altas) y además, predecir cambios en el fitoplancton a partir de características ambientales que seguramente variarán con la construcción de la citada Represa.

Entre los antecedentes de trabajo se citan algunos de mayor difusión internacional, que proporcionan información limnológica general sobre el río Paraná (BONETTO, 1975 y 1976; DEPETRIS, 1976; WELCOMME, 1979). Específicamente sobre aspectos químicos y del fitoplancton de la zona, existen algunas publicaciones más recientes (VASALLO & KIEFFER, 1984; PEROTTI DE JORDA, 1984 y 1985; GARCÍA DE

EMILIANI, 1981 y 1985; GARCÍA DE EMILIANI & ANSELM DE MANAVELLA, 1983).

MATERIAL Y METODOS

La zona de estudio es la comprendida entre Goya (29° 10' lat. S. y 50° 45' long. W) y Diamante (32° 05' lat. S y 60° 40' long. W). En ella se seleccionaron 25 puntos de muestreo en el cauce principal y los más importantes cauces secundarios y tributarios de ambas márgenes, teniendo en cuenta sus relaciones hidrográficas (fig. 1).

Los datos básicos corresponden a los del estrato de agua superficial, obtenidos durante dos períodos hidrológicos del régimen del río Paraná: 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).

Una descripción detallada de las características ambientales y del fitoplancton de las 2 campañas ya fue publicada (GARCÍA DE EMILIANI, 1981 y 1985). No obstante, se mencionan los rasgos más salientes de las variables seleccionadas (fig. 2): caudal, conductividad, pH y oxígeno disuelto, entre las ambientales y concentraciones (cél. ml⁻¹) de fitoplancton total, *Euchlorophyceae*, *Cyanophyceae*, *Euglenophyceae*, *Dinophyceae*, *Cryptomonas*, *Cyclotella* y *Melosira*, entre las biológicas.

Los cauces tributarios fueron, en promedio, los de menor caudal, mayor pH y conductividad, mientras que el cauce principal fue el más caudaloso, menos conductivo y más oxigenado. En líneas generales, en la segunda campaña, el caudal fue mayor y el pH, la conductividad y el oxígeno disuelto resultaron menores. Además, las aguas de los distintos tipos de cauces fueron diferentes en cuanto a su caracterización química (tabla I). En cuanto a las variables biológicas, puede expresarse que, en promedio, el cauce principal tuvo las menores concentraciones (excepto de *Melosira*) y los cauces tributarios los mayores, excepto de *Melosira* y *Cyclotella*. Estos géneros fueron más abundantes en los cauces secundarios.

En función de los objetivos perseguidos se eligió el análisis de correlación canónica, puesto que se disponía de dos grupos de variables (ambiental y biológico), interesaba conocer sus relaciones y que el primero actuara como predictor del otro. Este método de análisis multivariado permite encontrar la correlación máxima (coeficiente de correlación canónica) existente entre dos combinaciones lineales (variables canónicas) de dos grupos de descriptores y además, se utiliza para predecir información acerca de un grupo a partir del otro. Habitualmente el estudio se limita al de las primeras correlaciones

TABLA I

Porcentajes de equivalentes de los iones principales (valores promedios) en los distintos tipos de cauces del Paraná Medio, durante los períodos de aguas medias (círculos) y aguas altas (cuadrados) y para muchos ríos del mundo (MARGALEF, 1983 a). *Percentages of principal ions (mean values) from different water courses of Middle Paraná during mid (circles) and high water levels (squares) and from many rivers of the world (accord. to MARGALEF, 1983 a)*

		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻
<u>Cauces Paraná</u>								
Principal	●	38	25	28	9	64	16	20
	■	43	24	25	8	76	14	10
Secundarios	●	15	12	71	2	17	31	52
	■	28	14	55	3	50	16	34
Tributarios derecha	●	7	7	85	1	9	31	60
	■	6	13	80	1	8	30	62
Tributarios izquierda	●	22	9	68	1	19	25	56
	■	23	10	66	1	19	31	50
Ríos del mundo		52,6	24	19,2	4,1	67,1	16,3	15,4

canónicas, ya que normalmente son suficientes para describir la dependencia entre los dos grupos, ya sea porque las demás no resultan de valor práctico o porque los dos grupos son independientes, según el test de Bartlett. KENDALL & STUART (1966), proporcionan una descripción detallada de la teoría del método y LEFEBVRE (1976) de las etapas de cálculo.

La elección de los descriptores está restringida por las exigencias del método, ya que sus distribuciones deben ser nomales o normalizables por transformación. Además, con el propósito de no complicar la interpretación de los resultados conviene que la transformación sea del mismo tipo para todas las variables utilizadas. Por esta razón no se pudieron elegir algunas variables ambientales tales como temperatura, transparencia y sólidos suspendidos, así como algunos descriptores más específicos del fitoplancton, tales como los géneros de las algas más abundantes. Otras variables de importancia, por ejemplo nutrientes, no pudieron utilizarse por no disponer de las determinaciones.

Los descriptores empleados fueron normalizados por transformación logarítmica [$\ln(x + 1)$], excepto pH y oxígeno que presentaron distribuciones normales. Se trabajó con la matriz de datos centrados y reducidos (media = 0 y varianza = 1), utilizando el programa P6M de los Manuales BMDP (DIXON, 1981).

El análisis de correlación canónica se aplicó a 3 series de datos (1) a los correspondientes al conjunto de las dos campañas; (2) a los de la primera campaña (aguas medias) y (3) a los de la segunda (aguas altas).

RESULTADOS

Los resultados de la aplicación del método de correlación canónica al conjunto de datos de las dos campañas, se analizan en forma detallada y separadamente de las otras dos aplicaciones. Para aguas medias y altas, los resultados se interpretan sintéticamente, en comparación con los anteriores.

1. Correlación canónica para las dos campañas

En la tabla II se presentan los 4 coeficientes de correlación canónica posibles, los correspondientes valores propios y los resultados del test de Bartlett. Los valores de este test de significación indican que los dos primeros valores propios son significativos al nivel 0,01 elegido, por lo que sólo se consideran las dos primeras correlaciones canónicas. Las variables canónicas asociadas con ellas son, por lo tanto, suficientes para expresar la dependencia entre los dos grupos de descriptores (ambiental y biológico). No obstante, como se discutirá más adelante, sólo la primera resultó de valor práctico en este estudio, coincidiendo con lo señalado por otros autores al respecto (DIXON, 1981; GITTINS, 1979).

Las variables canónicas se interpretan teniendo en cuenta sus correlaciones con las variables originales (tabla III). Así, la primera del dominio ambiental (A_1) aparece definida por su relación directa con el caudal e inversa con la conductividad y, en menor grado, con el pH. La correspondiente al dominio

TABLA II

Valores propios (VP), coeficientes de correlación canónica (r_k) y test de Bartlett para los restantes VP, para las dos campañas juntas (aguas medias más aguas altas) y para cada una separadamente. *Eigenvalues (VP), canonical correlation coefficients (r_k) and Bartlett's test for the remaining VP, for the two surveys together (mid-water + high-water) and for each one separately*

VP	r_k	n° de VP	Test de Bartlett		
			chi cuadrado	g.l.	p
AGUAS MEDIAS + AGUAS ALTAS					
		0	113,98	32	0,01
0,825	0,908	1	39,87	21	0,01
0,429	0,655	2	16,08	12	0,20
0,257	0,507	3	3,44	5	0,70
AGUAS MEDIAS					
		0	63,98	32	0,01
0,875	0,936	1	27,54	21	0,20
0,564	0,751	2	12,99	12	0,70
0,343	0,585	3	5,64	5	0,70
0,275	0,525				
AGUAS ALTAS					
		0	91,37	32	0,01
0,937	0,968	1	43,01	21	0,01
0,804	0,897	2	14,49	12	0,70
0,359	0,599	3	6,71	5	0,70
0,318	0,564				

biológico (F_1 expresa algún aspecto común en la variación de todos los descriptores del fitoplancton (signo negativo), excepto *Melosira* (signo positivo), con respecto a la primer variable canónica ambiental. Por su magnitud, se destacan las correlaciones con Euglenophyceae, Euchlorophyceae, Dinophyceae, fitoplancton total y *Melosira*.

La varianza común al primer par de variables canónicas es del 82,5 %, dado que $r_1 = 0,908$ (tabla II) y $r_1^2 = 0,825$. Además, A_1 explica el 58 % de la varianza total del ambiente, mientras que F_1 explica el 35 % de la varianza total de su dominio. El valor de redundancia que tiene sentido analizar es el que expresa el poder de explicación de la variable canónica ambiental (A_1) sobre la biótica (F_1). En este caso, A_1 explica el 29 % de la varianza total del dominio biológico.

El segundo par de variables canónicas, también correlacionadas significativamente ($r_2 = 0,655$, tabla II), tiene un porcentaje de varianza común del 42,9 % ($r_2^2 = 0,429$). La segunda variable canónica ambiental (A_2 , tabla III) presenta una fuerte relación directa con el oxígeno disuelto y algo menor con el pH. La correspondiente al dominio biológico (F_2) está definida, fundamentalmente, por su correlación

positiva con Cyanophyceae, *Melosira* y fitoplancton total. Además, A_2 explica el 32,1 % de la varianza total de su dominio y F_2 , el 15 % del dominio correspondiente. El porcentaje de explicación de A_2 sobre F_2 (redundancia) es del 6,3 %.

Los valores de comunalidad intragrupo (C_d^2 , tabla III) indican que la mayor parte de la varianza de los descriptores ambientales es explicada por las dos variables canónicas retenidas; los descriptores biológicos, excepto Dinophyceae, *Cryptomonas* y *Cyclotella*, tienen por los menos un 50 % de sus varianzas explicadas por F_1 y F_2 . La comunalidad total dentro del grupo ambiental es elevada (90,2 %), en tanto que en el grupo biológico es menor (50 %). La redundancia conjunta de las dos variables canónicas ambientales sobre el dominio biótico es del 35,3 %.

Con respecto a las correlaciones intergrupo (tabla III), sólo interesan las expresadas en la parte derecha inferior, ya que permiten predecir cambios en el fitoplancton a partir de las variables canónicas abióticas. Individualmente, sólo la primer variable canónica ambiental puede predecir proporciones relativamente elevadas de la varianza de algunos descriptores (Euglenophyceae : 57,3 % y Euchloro-

TABLA III

Correlaciones entre las variables originales y los 2 primeros pares de variables canónicas (A_1 y F_1 , A_2 y F_2), varianza extraída, redundancia y comunalidad dentro del grupo (C_d^2) e intergrupo (C_i^2), para las dos campañas juntas. *Correlations between the original variables and the two first pairs of canonical variables (A_1 , F_1 and A_2 , F_2), variance extracted, redundancy and intraset (C_d^2) and interset communalities (C_i^2), for the two surveys together*

	A_1	A_2	C_d^2	F_1	F_2	C_i^2
Variables ambientales						
Caudal	0,939	0,247	0,963	0,853	0,162	0,753
Conductividad	-0,962	-0,188	0,961	-0,873	-0,123	0,778
pH	-0,675	0,526	0,732	-0,613	0,345	0,494
Oxígeno	-0,245	0,955	0,972	-0,223	0,626	0,441
Varianza extraída	0,581	0,321	0,902	0,480	0,140	0,620
Redundancia	0,480	0,140	0,620	0,480	0,140	0,620
	F_1	F_2	C_d^2	A_1	A_2	C_i^2
Variables biológicas						
Fitoplancton total	-0,606	0,515	0,632	-0,550	0,337	0,416
Euchlorophyceae	-0,731	0,274	0,609	-0,664	0,180	0,473
Cyanophyceae	-0,411	0,590	0,517	-0,373	0,386	0,290
Euglenophyceae	-0,834	-0,044	0,697	-0,757	-0,029	0,574
Dinophyceae	-0,632	-0,139	0,419	-0,574	-0,091	0,338
<i>Cryptomonas</i> pl.sp.	-0,406	-0,325	0,270	-0,369	-0,213	0,181
<i>Cyclotella</i> pl.sp.	-0,436	0,109	0,202	-0,396	0,071	0,162
<i>Melosira</i> pl.sp.	0,552	0,577	0,637	0,501	0,378	0,394
Varianza extraída	0,350	0,150	0,500	0,290	0,063	0,353
Redundancia	0,290	0,063	0,353	0,290	0,063	0,353

phyceae : 44,1%). Con las dos variables canónicas ambientales juntas, el valor predictivo aumenta : Euglenophyceae, 57,4 % ; Euchlorophyceae, 47,3 % ; fitoplancton total, 41,6 % y *Melosira*, 39,4 %.

En la figura 3 se representan los valores de las muestras («scores») en los subespacios definidos por los dos primeros pares de variables canónicas. En la figura de la izquierda se visualiza el contorno elíptico y la pendiente positiva del diagrama de dispersión, según el primer par. No resulta evidente la formación de grupos pero se puede apreciar el siguiente ordenamiento general de las muestras : cauces tributarios de la margen derecha, de la margen izquierda, cauces secundarios en aguas medias (valores negativos de A_1), cauces secundarios en aguas altas y cauce principal (valores positivos de A_1).

En la figura de la derecha se observa el diagrama de dispersión de las muestras, según A_2 y F_2 , también con pendiente positiva. En la parte negativa de A_2 se ubican los cauces secundarios en aguas altas y la mayor parte de los tributarios de la margen derecha. En la parte positiva de A_2 , se presentan mezcladas las restantes muestras y con gran dispersión según F_2 .

Resulta necesario mencionar que los elevados tenores de oxígeno se asocian con características biológicas diversas en los diferentes cauces. Por ejemplo, en el cauce principal hay baja concentración de fitoplancton total pero con una gran proporción de *Melosira*; los tributarios izquierdos poseen las mayores concentraciones de fitoplancton total y Cynophyceae y los cauces secundarios en aguas medias, tienen concentraciones de esas variables, intermedias entre los anteriores.

2. Correlación canónica en aguas medias

De los 4 coeficientes de correlación canónica posibles (tabla II), sólo el primero es significativo al nivel elegido y, por lo tanto, el análisis se limita al de las variables canónicas asociadas con él.

Las variables canónicas (tabla IV) se relacionan con las variables originales en el mismo sentido que en el análisis anterior. La del dominio ambiental (A_1), que explica el 60,4 % de la varianza total, presenta correlaciones igualmente importantes con caudal, conductividad y pH. La del dominio biótico (F_1 , con un 26,8 % de varianza explicada) está definida,

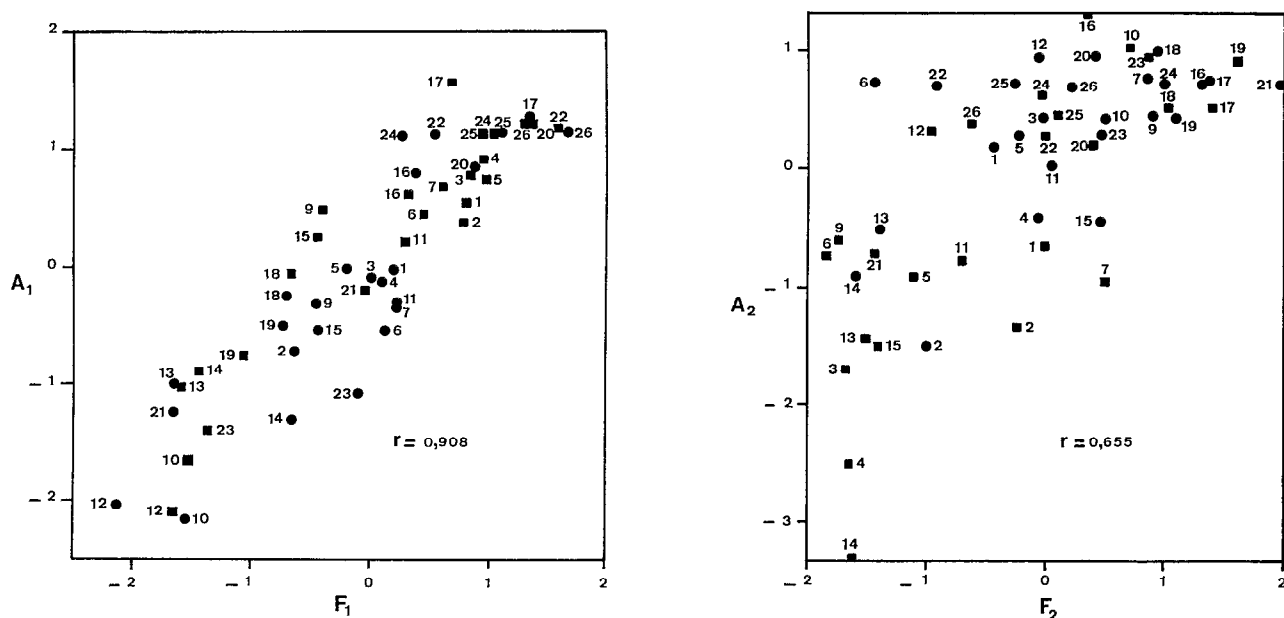


FIG. 3. — Posición de las muestras en el espacio dimensionado por el primer par de variables canónicas (A_1 , F_1) y por el segundo (A_2 , F_2). Círculos y cuadrados indican las muestras de la primera (aguas medias) y segunda campaña (aguas altas), respectivamente. Los números corresponden a las estaciones indicadas en la fig. 1. *Plots of canonical variables scores: first pair (A_1 , F_1) and second pair (A_2 , F_2). Circles and squares indicate mid and high water samples, respectively. Numbers indicate sampling stations of fig. 1*

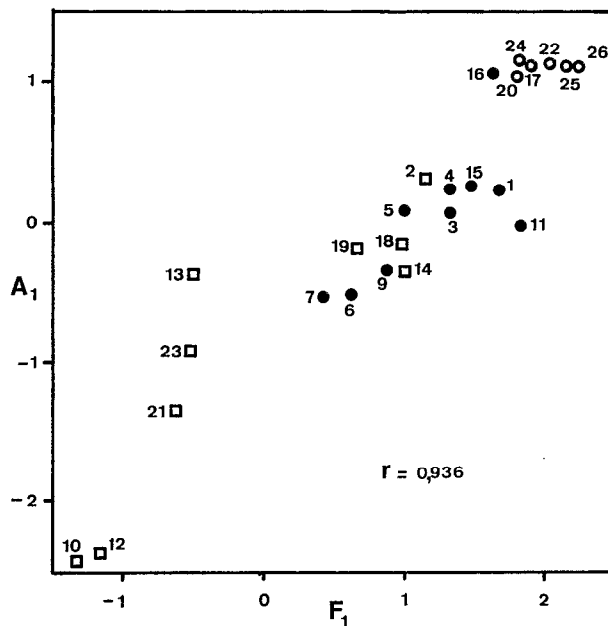


FIG. 4. — Posición de las muestras en el espacio dimensionado por el primer par de variables canónicas (A_1 , F_1). Cauce principal (círculos blancos), cauces secundarios (círculos negros) y tributarios (cuadrados). Los números corresponden a las estaciones indicadas en la fig. 1. *Plots of canonical variables scores (first pair: A_1 , F_1). Main channel (white circles), secondary water courses (black circles) and tributaries (squares). Numbers indicate sampling stations of fig. 1*

TABLA IV

Correlaciones entre las variables originales y la primera variable canónica de cada grupo (A_1 y F_1), varianza extraída, redundancia y comunalidad dentro del grupo (C_d^2) e intergrupo (C_i^2), para la primer campaña (aguas medias). *Correlations between the original variables and the first pair of canonical variables (A_1 , F_1), variance extracted, redundancy and intraset (C_d^2) and interset communalities (C_i^2), for de first survey (mid-water)*

	A_1	C_d^2	F_1	C_i^2
Variables ambientales				
Caudal	0,882	0,778	0,825	0,680
Conductividad	-0,853	0,728	-0,798	0,637
pH	-0,883	0,780	-0,826	0,682
Oxígeno	-0,363	0,132	-0,340	0,116
Varianza extraída	0,604	0,604	0,529	0,529
Redundancia	0,529	0,529	0,529	0,529
	F_1	C_d^2	A_1	C_i^2
Variables biológicas				
Fitoplancton total	-0,590	0,348	-0,552	0,305
Euchlorophyceae	-0,548	0,300	-0,513	0,263
Cyanophyceae	-0,480	0,230	-0,449	0,202
Euglenophyceae	-0,582	0,339	-0,545	0,297
Dinophyceae	-0,484	0,234	-0,453	0,205
<i>Cryptomonas</i> pl.sp.	-0,139	0,019	-0,130	0,017
<i>Cyclotella</i> pl.sp.	-0,129	0,017	-0,121	0,015
<i>Melosira</i> pl.sp.	0,810	0,656	0,758	0,575
Varianza extraída	0,268	0,268	0,235	0,235
Redundancia	0,235	0,235	0,235	0,235

fundamentalmente, por *Melosira*, fitoplancton total, Euglenophyceae y Euchlorophyceae. La varianza común al primer par de variables canónicas es del 87,5 % ($r_1 = 0,936$, tabla II) y la redundancia de A_1 sobre F_1 es del 23,5 %.

Debido a que el análisis se limita al del primer par de variables canónicas, los porcentajes de varianza explicada de cada una de las variables originales (comunalidad) resultaron menores que en el conjunto de datos. No obstante, son importantes los de caudal, conductividad, pH (más del 72 %) y *Melosira* (65,6 %). Además, la comunalidad intergrupo indica que la primer variable canónica ambiental puede predecir una alta proporción de la variabilidad de *Melosira* (57,5 %) y alrededor del 30 % de la varianza de fitoplancton total y Euglenophyceae.

En el espacio dimensionado por A_1 y F_1 (fig. 4), las muestras de aguas medias se presentan distribuidas en 3 grupos: cauces tributarios (parte negativa), cauces secundarios y algunos tributarios (parte media) y cauce principal (extremo positivo).

En síntesis, en aguas medias se observa un ordenamiento similar de las muestras que el obtenido

para el conjunto de datos, pero resultante de una igual participación de pH, caudal y conductividad, variables que se asocian más estrechamente con *Melosira* y algo menos con fitoplancton total, Euglenophyceae y Euchlorophyceae.

3. Correlación canónica en aguas altas

Los dos primeros coeficientes de correlación canónica son significativos (tabla II), por lo que se analizan los dos primeros pares de variables canónicas.

Las variables originales se relacionan con el primer par de variables canónicas (tabla V) de la misma forma que en los análisis anteriores. A_1 , aparece definida por contribuciones más homogéneas de todas las variables ambientales, destacándose la correlación con pH y conductividad. En aguas altas se maximizan las correlaciones con pH y oxígeno y se minimizan las de las otras 2 variables ambientales, en comparación con las otras dos aplicaciones. Las variables que tienen más peso en definir a F_1 son,

TABLA V

Correlaciones entre las variables originales y los 2 primeros pares de variables canónicas (A_1 y F_1 , A_2 y F_2), varianza extraída, redundancia y comunalidad dentro del grupo (C_d^2) e intergrupo (C_i^2), para la segunda campaña (aguas altas). *Correlations between the original variables and the two first pairs of canonical variables (A_1 , F_1 and A_2 , F_2), variance extracted, redundancy and intraset (C_d^2) and interset communalities (C_i^2), for the second survey (high-water)*

	A_1	A_2	C_d^2	F_1	F_2	C_i^2
Variables ambientales						
Caudal	0,689	0,676	0,932	0,667	0,606	0,812
Conductividad	-0,807	-0,557	0,961	-0,781	-0,499	0,859
pH	-0,887	0,444	0,984	-0,859	0,398	0,896
Oxígeno	-0,523	0,573	0,602	-0,506	0,514	0,520
Varianza extraída	0,547	0,323	0,870	0,512	0,260	0,772
Redundancia	0,512	0,260	0,772	0,512	0,260	0,772
	F_1	F_2	C_d^2	A_1	A_2	C_i^2
Variables biológicas						
Fitoplancton total	-0,585	-0,204	0,384	-0,566	-0,183	0,354
Euchlorophyceae	-0,746	-0,265	0,627	-0,722	-0,238	0,578
Cyanophyceae	-0,564	0,543	0,613	-0,546	0,487	0,536
Euglenophyceae	-0,905	-0,273	0,894	-0,876	-0,245	0,827
Dinophyceae	-0,797	-0,354	0,761	-0,771	-0,317	0,695
<i>Cryptomonas</i> pl.sp.	-0,736	-0,445	0,740	-0,712	-0,399	0,666
<i>Cyclotella</i> pl.sp.	-0,350	-0,500	0,372	-0,339	-0,449	0,317
<i>Melosira</i> pl.sp.	0,377	0,429	0,326	0,365	0,385	0,281
Varianza extraída	0,434	0,155	0,589	0,407	0,124	0,531
Redundancia	0,407	0,124	0,531	0,407	0,124	0,531

en orden de importancia : Euglenophyceae, Dinophyceae, Euchlorophyceae, *Cryptomonas*, fitoplancton total y Cyanophyceae. Estos descriptores, excepto fitoplancton total, están más estrechamente asociados con F_1 en aguas altas que en los otros dos análisis.

El porcentaje de varianza común a este primer par (93,7%, tabla II), la varianza explicada por F_1 (43,4%) y la redundancia de A_1 sobre F_1 (40,7%) resultaron máximas en aguas altas, mientras que la varianza explicada por A_1 se mantuvo en el orden (54,7%).

El ordenamiento de las muestras según A_1 y F_1 en aguas altas (fig. 5) se diferencia, principalmente del de aguas medias, por la mayor proximidad de los cauces secundarios con el principal, debida a la comparativamente menor influencia del caudal en A_1 y al mayor peso negativo de Euglenophyceae, Dinophyceae, Euchlorophyceae y *Cryptomonas* en F_1 .

El segundo par de variables canónicas también tiene un alto porcentaje de varianza común (80,4%, tabla II). La del dominio ambiental (A_2 , tabla V),

que explica un 32,3% de la varianza total, está definida por contribuciones parecidas de los 4 descriptores ambientales, entre las cuales se destacan las positivas con caudal y oxígeno y la negativa con conductividad. La segunda variable canónica biológica (F_2), que explica el 15,5% de la varianza de ese dominio, tiene correlaciones positivas, relativamente importantes, con Cyanophyceae y *Melosira* y negativas, con *Cyclotella* y *Cryptomonas*.

En la interpretación del ordenamiento de las muestras según A_2 y F_2 (fig. 5) se debe tener en cuenta que no existe una estrecha relación de estas variables canónicas con ninguna de las variables originales, por lo que la ubicación de las muestras en una zona puede deberse a la influencia de distintas variables. Así, por ejemplo, en la parte positiva aparecen junto al cauce principal algunos tributarios, debido a que el mayor peso se debe al caudal y la conductividad, en el cauce principal y al oxígeno y pH en los tributarios. También las causas de la ubicación según F_2 son distintas, ya que el cauce principal tiene una mayor relación directa con *Melosira* e inversa con *Cyclotella* y los tributarios

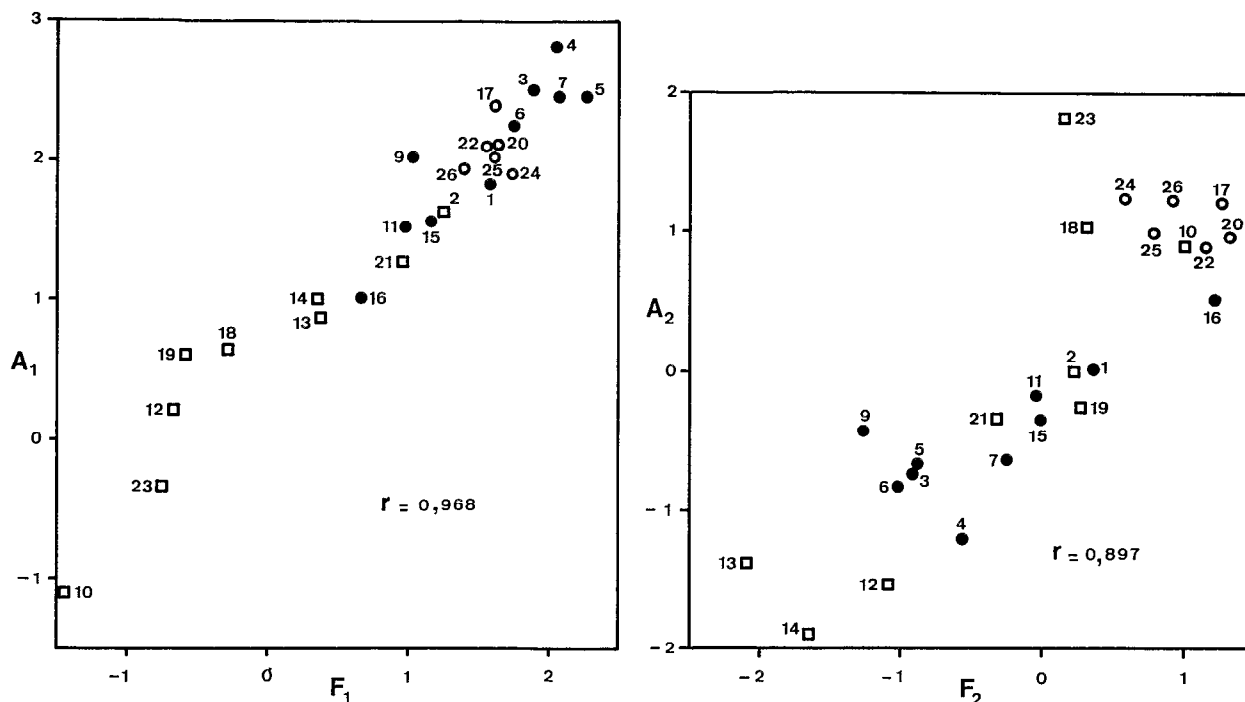


FIG. 5. — Posición de las muestras en el espacio dimensionado por los dos primeros pares de variables canónicas (A_1 , F_1 y A_2 , F_2). Referencias en la fig. 4. *Plots of canonical variates scores: first pair (A_1 , F_1) and second pair (A_2 , F_2). References in fig. 4*

están más directamente asociados con Cyanophyceae.

Los valores de comunalidad dentro del grupo ambiental indican que las dos variables canónicas explican un alto porcentaje de la varianza total (87%) y la mayor parte de la variabilidad del pH, conductividad y caudal. En el grupo biológico se explica el 58,9% de la varianza total y gran parte de la de los descriptores (más del 60%), excepto *Melosira*, *Cyclotella* y fitoplancton total.

Las dos variables canónicas ambientales permiten predecir más de la mitad de la varianza biológica (53,1%), con porcentajes elevados de algunos descriptores: Euglenophyceae (82,7%), Dinophyceae (69,5%), *Cryptomonas* (66,6%), Euchlorophyceae (57,8%) y Cyanophyceae (53,6%).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El análisis canónico ha permitido describir y cuantificar las relaciones más significativas entre variables ambientales y el fitoplancton de los más importantes cauces de un sector de la red fluvial del Paraná Medio.

En primer lugar, el factor compuesto (A_1), integrado principalmente por conductividad, pH (signo negativo) y caudal (signo positivo), se asocia estrechamente con Euglenophyceae, Euchlorophyceae, fitoplancton total y Dinophyceae (signo negativo). Además, en aguas medias tiene una fuerte relación con *Melosira* (signo positivo) y, en aguas altas, con *Cryptomonas* (signo negativo).

Cuando el estudio se centra en la distribución espacial, las correlaciones variables originales-variables canónicas, los porcentajes de varianza explicada y la redundancia demuestran que las variables ambientales, en la forma en que definen a A_1 , tienen más influencia sobre los descriptores de F_1 (excepto *Melosira*) en aguas altas que en aguas medias, periodo durante el cual deben incidir más intensamente otros factores abióticos.

Cuando se evalúa simultáneamente la distribución espacial y temporal, las variables se comportan de la misma manera que cuando el estudio comprende sólo a la primera de ellas (distintos cauces bajo una condición hidrológica).

Además, el primer par de variables canónicas explican una parte sustancial de sus respectivos dominios (más del 50% del ambiental y el 27-43% del biológico), resultando a la vez importantes los

porcentajes de explicación de A_1 sobre F_1 (23,5-41 %).

Los diagramas de dispersión de las muestras también han resultado de utilidad puesto que permiten discriminar claramente, por lo menos, las de los tipos extremos (cauce principal-cauces tributarios).

En consecuencia, es posible concluir que el modelo canónico de rango 1 proporciona un ajuste aceptable a los datos del estudio exploratorio de los cauces del Paraná Medio. Además, identifica y cuantifica algunas nuevas relaciones entre variables ambientales y descriptores del fitoplancton, a la vez que describe otras ya señaladas en investigaciones anteriores en el área y de amplia difusión internacional. Entre ellas cabe mencionar la relación inversa entre caudal y fitoplancton, entre caudal y conductividad, así como la mayor frecuencia de *Melosira* en los ríos caudalosos (BEADLE, 1974; HASLER, 1975; WHITTON, 1975; GOLLEY & MEDINA, 1975; RZÓSKA, 1976; SCHIAFFINO, 1977; BONETTO *et al.*, 1979; MORDUKHAIBOLTOVSKOI, 1979; MARGALEF, 1983 a, VÁSQUEZ y SÁNCHEZ, 1984, entre otros).

Por otra parte, el segundo par de variables canónicas, correlacionadas significativamente en aguas altas y en el conjunto de las dos condiciones hidrológicas, no permite una clara interpretación ecológica. Por un lado, A_2 está sólo bien definida en la aplicación mencionada en segundo término, por su alta relación positiva con el oxígeno disuelto. En aguas altas, la interpretación de A_2 no es sencilla ya que aparece definida por caudal y oxígeno con magnitudes similares a las que intervienen en A_1 , pero con distinto signo para el oxígeno. Además, las distintas causas de variación del oxígeno disuelto y su asociación con características biológicas diversas en los distintos tipos de cauces (por ej. con *Melosira* en los ríos más caudalosos y con Cyanophyceae y fitoplancton total en los tributarios menores), restan valor práctico a este segundo par.

En cuanto a la utilidad del análisis canónico a los fines predictivos, es necesario tener en cuenta que la construcción de la Represa Paraná Medio implica la desaparición de gran parte de un ecosistema poco conocido y absolutamente peculiar (unos 8500 km² de valle, incluyendo el cauce principal) y también cambios aguas abajo del embalse. Por ello, los resultados obtenidos deben considerarse como una primera aproximación ya que son consecuencia de una matriz de datos limitada, la que debería ampliarse por lo menos con los correspondientes a un periodo de aguas bajas y con variables ambientales que seguramente también variarán al operarse la transformación (por ej. sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica).

Todas estas consideraciones obligan a ser suma-

mente cautelosos en la interpretación de los resultados con fines predictivos, máxime si tenemos en cuenta que muchas evaluaciones anticipadas no coinciden con los cambios posteriormente operados (MARGALEF, 1983 b).

Algunos de los principales cambios que es de esperar con la construcción de represas se relacionan con el aumento del tiempo de residencia del agua embalsada, tales como disminución de la turbulencia y aumento de la sedimentación (WHITTON, 1975) y con la reducción del flujo aguas abajo. Estos factores tendrán un efecto positivo sobre el desarrollo del fitoplancton, si se extrapolan las relaciones actuales puestas de manifiesto por el análisis canónico a las futuras condiciones de la Represa Paraná Medio.

Entre las más importantes predicciones del factor compuesto A_1 (relación positiva con caudal y negativa con conductividad y pH), en las 3 aplicaciones del método, se pueden mencionar los porcentajes de variación de Euglenophyceae (30-77 %), Eucchlorophyceae (26-52 %) y fitoplancton total (30-32 %); en aguas medias, *Melosira* (57 %) y, en aguas altas, Dinophyceae (59 %) y *Cryptomonas* (50 %). Además, se pueden prever incrementos aún mayores del fitoplancton en el periodo primaveral de caudales mínimos (10 % del año), durante el cual se sumarán condiciones climáticas propicias.

Después del embalsado de muchos grandes ríos tropicales (BEADLE, 1974) y subtropicales, entre los que merece especial mención, por su proximidad con la zona de estudio, el Embalse de Salto Grande sobre el río Uruguay (QUIRÓS y LUCHINI, 1982), se ha señalado un incremento del fitoplancton total, diatomeas y cianofíceas, particularmente *Melosira granulata* y *Microcystis aeruginosa*. En Salto Grande, la primera se desarrolla en el cuerpo principal del embalse y la segunda, en algunos brazos laterales. En el cauce principal del Paraná, la primer especie es constante y muy abundante en aguas medias, mientras que *Microcystis* adquiere importancia en los tributarios de la margen izquierda, cuyas desembocaduras quedarán como bahías del futuro embalse. Lógicamente estos aportes podrán ser percibidos en el cuerpo de agua principal del Embalse, cuando coincidan altos flujos de los tributarios (por precipitaciones en sus cuencas) con periodos de bajo nivel de agua en el Embalse, los que dependerán seguramente del régimen pluviométrico en la cuenca superior del Paraná y del funcionamiento de las Represas situadas aguas arriba.

AGRADECIMIENTOS

A los Dres. Dolores PLANAS y Guy MOREAU, por la lectura crítica del manuscrito y valiosas sugerencias.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 2 février 1988

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BEADLE (L. C.), 1974. — The inland waters of tropical Africa. Longman, N. York, 365 p.
- BONETTO (A.), 1975. — Hydrological regime in the Paraná river and its influence on ecosystems. (p. 175-197). In : A. Hasler (Ed.). Coupling of land and water systems. Springer-Verlag, N. York, 310 p.
- BONETTO (A.), 1976. — Calidad de las aguas del río Paraná. Introducción a su estudio ecológico. INCYTH-PNUD-ONU, Santa Fe, 204 p.
- BONETTO (C.), ZALOCAR (Y.), CARO (P) & VALLEJOS (E.), 1979. — Producción primaria del fitoplancton del río Paraná en el área de su confluencia con el río Paraguay. *Ecosur*, 6 (12) : 207-227.
- DEPETRIS (P.), 1976. — Hydrochemistry of the Paraná river. *Limnol. Oceanogr.*, 21 : 736-739.
- DIXON (W. J.), 1981. — BMDP Statistical Software. Univ. California Press, Berkeley, 720 p.
- GARCÍA de EMILIANI (M. O.), 1981. — Fitoplancton de los principales cauces y tributarios del valle aluvial del río Paraná : tramo Goya-Diamante. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 12 : 112-125.
- GARCÍA de EMILIANI (M. O.) & ANSELMi de MANAVELLA (M. I.), 1983. — Fitoplancton de los principales cauces y tributarios del valle aluvial del río Paraná : tramo Goya-Diamante, II. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 14 : 179-191.
- 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) : 95-111.
- GITTINS (R.), 1979. — Ecological applications of canonical analysis (p. 309-535). In : L. Orloci, C. R. Rao y W. M. Stiteler (Eds.). Multivariate methods in ecological works. Int. Co-operative Publ. House, Fairland, Maryland, 550 p.
- GOLLEY (F. B.) & MEDINA (E.), 1975. — Tropical ecological systems. Springer-Verlag, N. York, 398 p.
- HASLER (A. D.), (Ed.), 1975. — Coupling of land and water systems. Springer-Verlag, N. York, 309 p.
- KENDALL (M. G.) & STUART (A.), 1966. — The advanced theory of statistics. Vol. 3. Hafner Publ. Co, N. York, 552 p.
- LEFEBVRE (J.), 1976. — Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles. Masson, Paris, 219 p.
- MARGALEF (R.), 1983 a. — Limnología. Omega, Barcelona, 1010 p.
- MARGALEF (R.), 1983 b. — El proyecto del Paraná Medio y su incidencia sobre la ecología regional. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 14 (1) : 29-46.
- MORDUKHAI-BOLTOVSKOI (Ph. D.), (Ed.), 1979. — The river Volga and its life. Junk, La Haya, 473 p.
- OEA, 1969. — Cuenca del río de La Plata. Estudio para su planificación y desarrollo. Inventario de datos hidrológicos y climáticos. Secretaria Gral. de la OEA, Washington, 272 p.
- PEROTTI de JORDA (N. M.), 1984. — Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, IX : Biomasa y productividad del fitoplancton. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15 (2) : 117-133.
- PEROTTI de JORDA (N. M.), 1985. — Pigmentos del fitoplancton de ambientes lóticos del valle aluvial del río Paraná (tramo Goya-Diamante). *Physis (Bs. As.)*, secc. B, 43 (104) : 13-29.
- QUIRÓS (R.) & LUCHINI (L.), 1982. — Características limnológicas del embalse de Salto Grande, III : Fitoplancton y su relación con parámetros ambientales. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 13 : 49-66.
- RZÓSKA (J.), (Ed.), 1976. — The Nile. Biology of an ancient river. Junk, La Haya, 417 p.
- SCHIAFFINO (M.), 1977. — Fitoplancton del río Paraná. I. Sus variaciones en relación al ciclo hidrológico en cauces secundarios de la llanura aluvial. *Physis*, 36 (92) : 115-125.
- SOLDANO (F.), 1947. — Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. Címera, Buenos Aires, 277 p.
- VÁSQUEZ (E.) & SÁNCHEZ (L.), 1984. — Variación estacional del plancton en dos sectores del río Orinoco y una laguna de inundación adyacente. *Men. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 121 (44) : 11-32.
- VASALLO (M.) & KIEFFER (L.), 1984. — Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, VII : Química del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15 (2) : 97-108.
- WELCOMME (R. L.), 1979. — Fisheries ecology of floodplain rivers. Longman, N. York, 317 p.
- WHITTON (B. A.), (Ed.), 1975. — River ecology. Blackwell, Londres, 725 p.