

## ESTRUCTURAS AMBIENTALES EN LOS SISTEMAS DE DESEMBOCADURA DE RÍOS Y ESTEROS DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE (V REGION).

Gerardo Leighton\*, Eduardo Lobo\*\* y Raúl Ugarte\*\*\*

**ABSTRACT.** Environmental structures in the mouth river systems of the Central zone of Chile (V Región).

In order to characterize the environmental structures in the mouth river systems of the Central zone of Chile, yield sampling were made in three periods of the year: November 1982, January 1983 and April 1983. The physical and chemical properties of the principal channel (i.e., water temperature and transparency, oxygen concentration, phosphate, nitrite, alkalinity, chlorinity and pH), were determined. According to the statistical analysis of variance and factorial multivariate analysis, three kinds environmental structures were recognized.

**Key words:** Mouth river systems, principal channel, environmental structures, sand bar estuaries, chemical composition.

### INTRODUCCION

Los sistemas de agua corriente o lóticos, como es el caso de los ríos y esteros y los sistemas estuarinos, se caracterizan por presentar condiciones ambientales que están variando intensamente en el espacio y el tiempo.

En Chile, existe una amplia gama de sistemas naturales en

\* Instituto de Ocenología, Universidad de Valparaíso. Casilla 13-D, Viña del Mar, Chile.

\*\* Fundacao Zoobotânica do Rio Grande do Sul. Caixa Postal 1188, CEP 90000, Porto Alegre, Brasil.

\*\*\* Laboratorio de Tecnología Farmacéutica, Universidad de Valparaíso. Casilla 92-V, Valparaíso, Chile.

la zona de desembocadura de ríos y esteros. En la V Región de este país (32°35'-33°89'L.S.), se encuentran sistemas que se caracterizan por presentar en una época del año una escasa o ninguna comunicación con el mar, producto de la formación de una barra de arena. En estas áreas es posible distinguir 13 subsistemas, destacándose como el más permanente el canal principal (Leighton 1985).

En general, los estudios concernientes a las variaciones de las condiciones ambientales en sistemas lóticos y, en particular, en los sistemas de desembocadura de ríos y esteros, son muy escasos. Entre los trabajos realizados en sistemas de desembocadura de Chile Central, se debe señalar a Leighton et al. (1984), quienes estudiaron rangos de variación para algunos componentes químicos en tres desembocaduras de la zona Central de Chile.

Por otro lado, Pino & Mulsow (1983) describen la estructura de las facies granulométricas del estuario del río Queule (IX Región), utilizando análisis de componentes principales para ordenar las muestras. Estrada (1975) utiliza esta misma técnica multivariante para ordenar muestras de aguas de diferentes embalses de España. En ambos trabajos se encuentran satisfactorios resultados, considerando el alto número de muestras espacio-temporales bajo análisis. En el presente estudio también se pretende conocer el agrupamiento y ordenación que presentan las variables físico-químicas y las observaciones, con el objeto de obtener información sobre las grandes variaciones existentes en la estructura ambiental de este tipo de ecosistemas.

## MATERIALES Y METODOS

### Muestreo

Se efectuaron muestreos de un conjunto de nueve sistemas de desembocadura de ríos y esteros de la zona Central de Chile (V Región), entre el estero de Catapilco (32°85'S; 71°28'W) y el río Rapel (33°89'S; 71°50'W), en tres épocas del año: noviembre 1982, enero 1983 y abril 1983 (Fig. 1). Los muestreos del conjunto de sistemas de desembocadura transcurrieron en el lapso de una semana, en cada época del año, comenzando con los

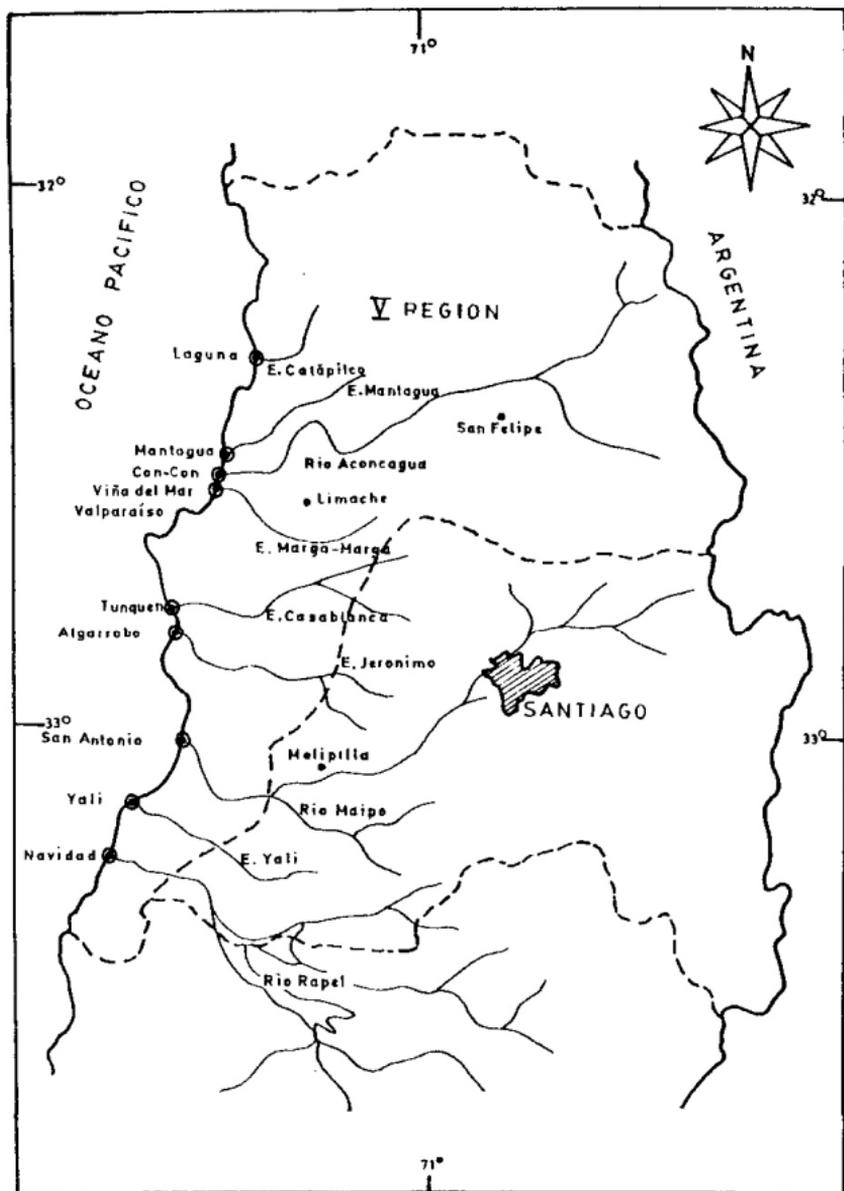


Fig. 1. Localización de los sistemas de desembocadura de ríos y esteros de la zona central de Chile (V Región).

sistemas ubicados al sur de la zona de estudio para finalizar con los sistemas ubicados al norte de la misma.

El subsistema muestreado correspondió al canal principal de acuerdo con el modelo descriptivo propuesto por Leighton (1985). En el canal principal se situaron cuatro estaciones de muestreo, siguiendo el eje longitudinal del canal, entre el lugar donde la línea de costa intercepta al eje del canal hasta el lugar, al interior del río, donde alcanza la influencia de las mareas.

La toma de muestras se realizó en superficie (0.3 m) utilizando botellas plásticas de 1 litro para los análisis de la clorinidad, alcalinidad, pH y nitrito; botellas de vidrio de 250 ml para los análisis de fosfatos y botellas oscuras de 250 ml para los análisis de oxígeno. Simultáneamente se hicieron mediciones de la temperatura del agua y mediciones de la transparencia del agua con el disco de Secchi. Los muestreos se efectuaron en un bote de goma movido a remos.

### Análisis de las muestras

Las concentraciones de fosfatos, nitritos, cloruros, alcalinidad y oxígeno fueron determinadas según los métodos descritos en Strickland & Parsons (1968). El pH se determinó en el laboratorio utilizando un pH metro Corning, modelo 10.

Los análisis estadísticos empleados fueron: papel probabilístico y test de Lilliefors para prueba de normalidad (Conover 1971), test de Bartlett para prueba de homogeneidad de varianza (Dixon & Massey 1979), análisis de varianza a un criterio de clasificación (Dixon & Massey 1979) y el test de clasificación por rangos de Kruskal y Wallis (Conover 1971). Se trabajó con niveles de significancia iguales al 5%. Además, se utilizó el análisis factorial de correspondencias para el ordenamiento de los sistemas en relación a las variables ambientales (Benzecri 1973).

## RESULTADOS

### Variabilidad de los componentes químicos y físicos

Los análisis estadísticos de la varianza efectuados para cada

uno de los componentes químicos y físicos seleccionados, permitieron establecer variaciones significativas entre los nueve sistemas de desembocadura considerados en este estudio.

La tabla 1 resume los análisis estadísticos efectuados para determinar la variabilidad en la concentración de oxígeno, fosfato y nitrito, alcalinidad, clorinidad y pH en muestras provenientes del canal principal y también para la temperatura y transparencia del agua, considerando los muestreos de noviembre 1982, enero 1983 y abril 1983.

El resultado final indica que la concentración de oxígeno, fosfato, nitrito, alcalinidad, clorinidad, pH y la transparencia del agua, presentan variaciones significativas al ser comparadas las nueve desembocaduras. La temperatura superficial del agua no presentó diferencias, por lo que se consideró constante para todos los sistemas estudiados.

### Variaciones muestrales de los componentes químicos y físicos

Los coeficientes de variación obtenidos de las muestras de diferentes épocas, desembocaduras y estaciones de muestreo, indican que las mayores dispersiones ocurren en las variables fosfato (7000%), transparencia (4700%), clorinidad (1000%) y nitritos (700%). Menores dispersiones se presentan entre los valores obtenidos para oxígeno (44.9%), alcalinidad (33.7%) y pH (4.8%). Las variables que presentan las mayores dispersiones en el conjunto de muestras corresponden a las que presentan mayor variabilidad entre sistemas, estaciones y fechas de muestreo.

### Variaciones entre épocas y desembocaduras

Las figuras 2, 3 y 4, muestran los histogramas para las medias y varianzas de cada uno de los componentes químicos y físicos determinados en cada desembocadura y época de muestreo. El estero de Marga-Marga y el río Maipo presentan los más altos valores de fosfato ( $151.39 \mu\text{g at/l}$  y  $54.35 \mu\text{g at/l}$ ) y nitritos ( $19.1 \mu\text{g at/l}$  y  $5.46 \mu\text{g at/l}$ ) respectivamente, alcanzándose los máximos en el muestreo de abril para el estero de Marga-Marga y en el muestreo de enero, para el río Maipo. Estos máximos coinciden con las máximas varianzas, las cuales indican variaciones entre estaciones de muestreo. El estero de

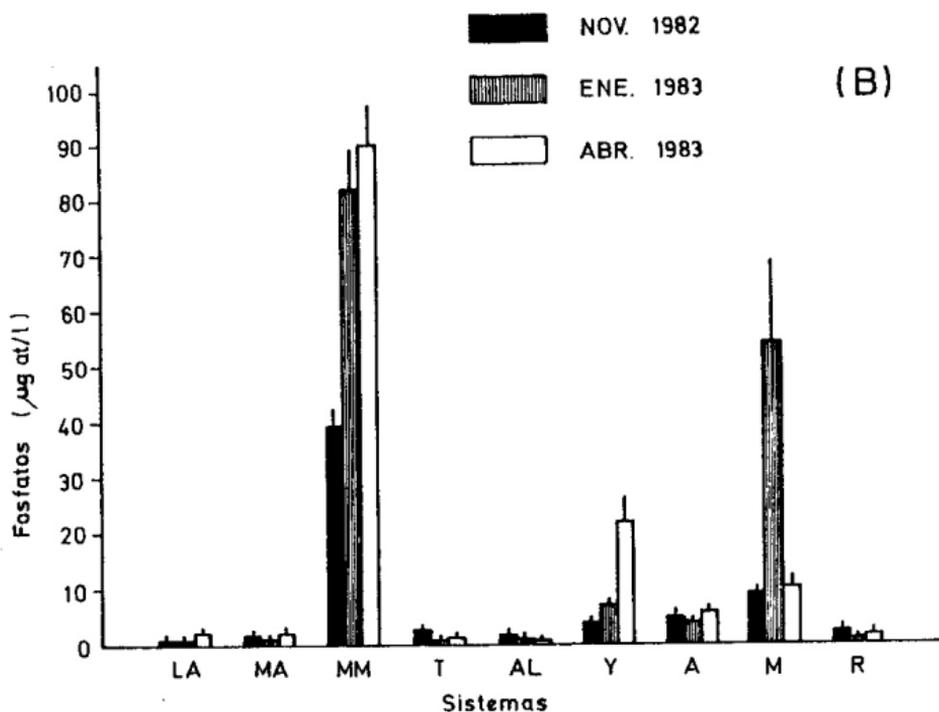
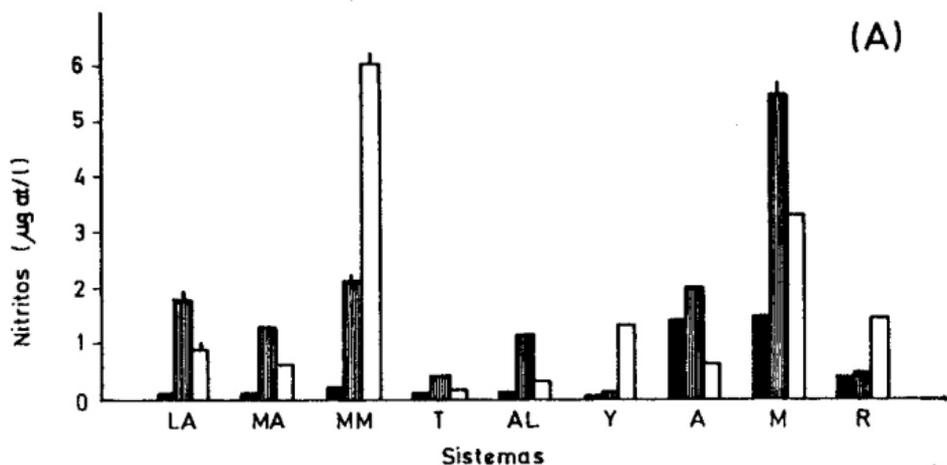


Fig. 2. Medias y varianzas de la concentración de nitritos (A) y fosfatos (B) en los sistemas de desembocadura de la zona central de Chile. LA: Laguna de Maitencillo; MA: Mantagua; MM: Marga-Marga; AL: Algarrobo; T: Tinquén; Y: Yali; A: Aconcagua; M: Maipo; R: Rapel.

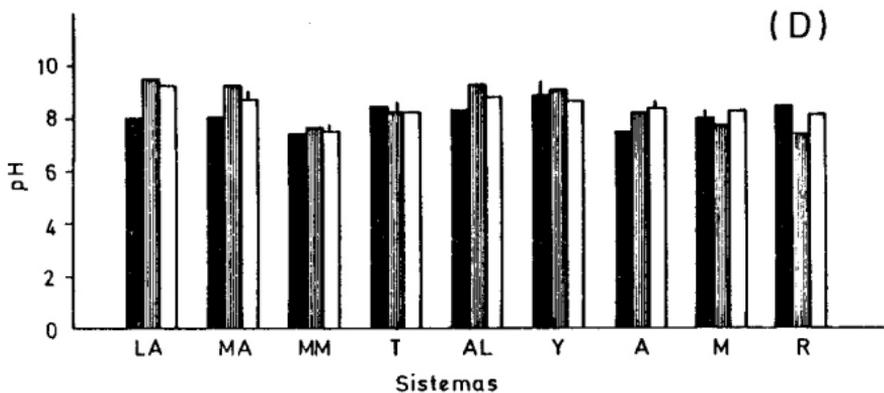
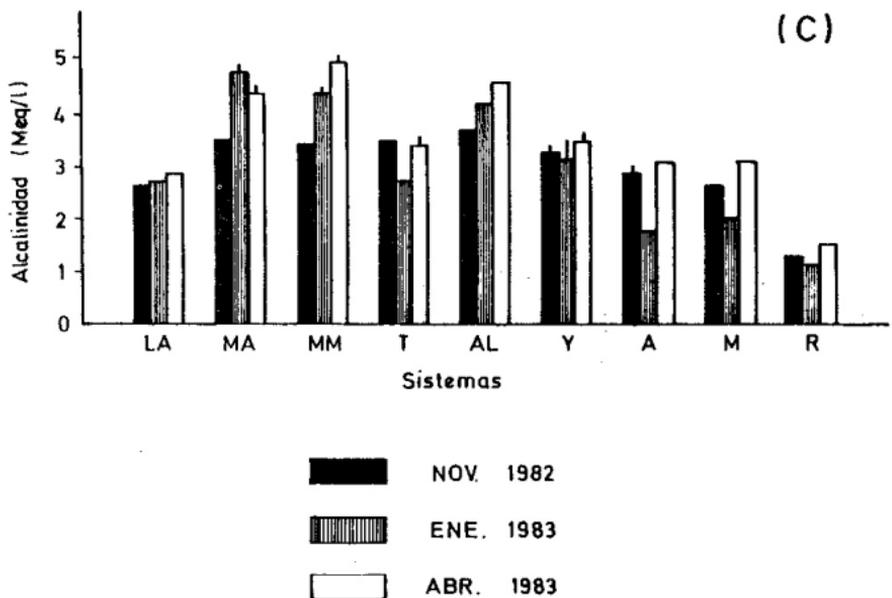


Fig. 3. Medias y varianzas de la alcalinidad (C) y pH (D) en los sistemas de desembocadura de la zona central de Chile. LA: laguna de Maitencillo; MA: Mantagua; MM: Marga-Marga; AL: Algarrobo; T: Tunquén; Y: Yali; A: Aconcagua; M: Maipo; R: Rapel.

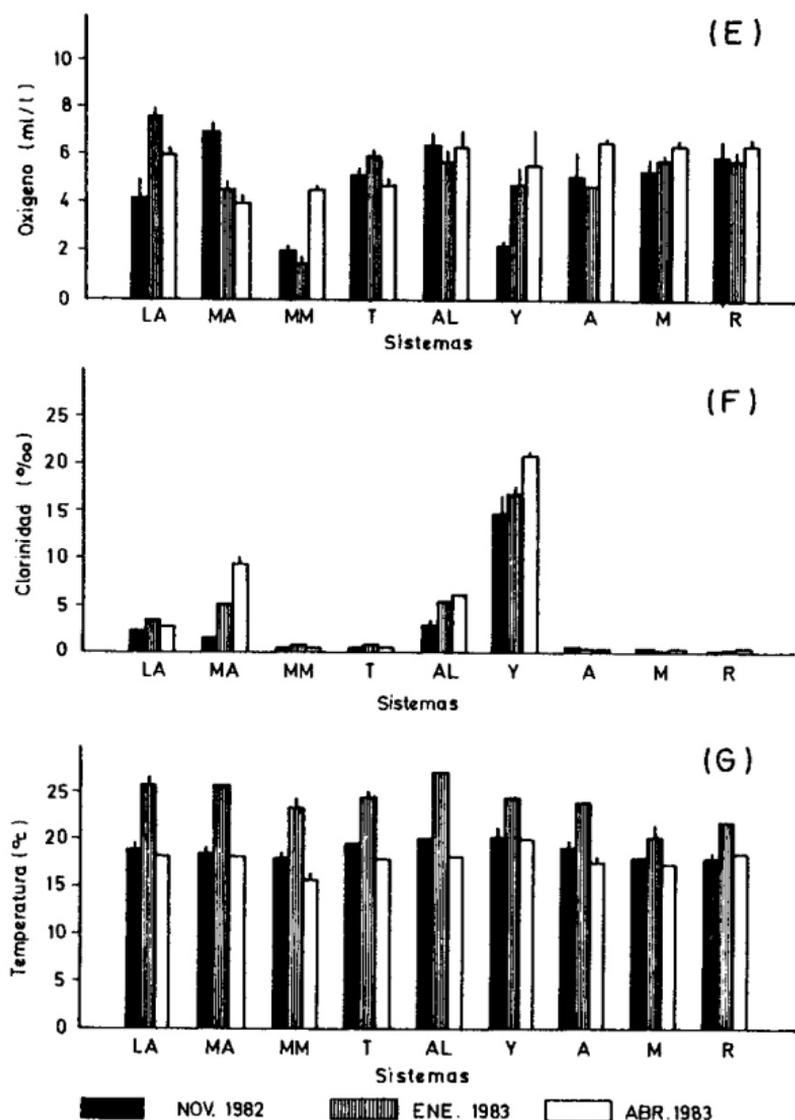


Fig. 4. Medias y varianzas de la concentración de oxígeno (E), clorinidad (F) y temperatura (G) en los sistemas de desembocadura de la zona central de Chile. LA: laguna de Maitencillo; MA: Mantagua; MM: Marga-Marga; AL: Algarrobo; T: Tunquén; Y: Yali; A: Aconcagua; M: Maipo; R: Rapel.

Marga-Marga, además presentó las más bajas concentraciones de oxígeno ( $1.54 \text{ ml/l}$ ), alcanzando el mínimo en el muestreo de enero.

Los mayores valores de clorinidad se obtuvieron en muestras de abril de la desembocadura del estero de Yali (22.98%), además, presentó bajas concentraciones de oxígeno en el muestreo de noviembre, sin alcanzar los valores dados para el estero de Marga-Marga.

Los mayores valores para la alcalinidad se observan en las desembocaduras de Mantagua, Marga-Marga y Algarrobo. Los máximos corresponden al estero de Mantagua en el muestreo de enero.

El coeficiente de variación determinado para la transparencia del agua indica una alta variabilidad de este componente físico entre los sistemas de desembocadura. Los mayores valores se observan para las desembocaduras de Rapel, Tunquén y Algarrobo en el muestreo de abril y los menores valores para las desembocaduras del río Maipo, Aconcagua y el estero de Marga-Marga en el muestreo de enero, coincidiendo con la disminución de la temperatura observada para todos los sistemas.

El pH y la temperatura no presentaron mayores variaciones, relacionándose esta última con la época de muestreo para todos los sistemas de desembocadura.

### Ordenación de los sistemas de desembocadura según el análisis factorial de correspondencias

El análisis factorial de correspondencias efectuado para los nueve sistemas de desembocadura, en las tres fechas de muestreo, considerando la composición químico-física determinada en cada muestreo, presentó un alto porcentaje acumulado de explicación de la varianza total del sistema (Tabla 2). Se observa que hasta el eje VI, el porcentaje acumulado alcanza un 73.1%.

#### - Análisis de los ejes I y II

El plano formado por los ejes I y II muestra un gradiente de menor a mayor concentración de fosfato y nitrito que coincide con las disminuciones de los factores de carga de ambas variables respecto al eje I, y al contrario, un gradiente de ma-

por a menor concentración de oxígeno. Se observan tres grupos de sistemas que se ubican a lo largo de estos gradientes, denominados Grupo 1 (G-1), Grupo 2 (G-2) y Grupo 3 (G-3) en Fig. 5. Las coordenadas del eje I separan estos grupos con un coeficiente de correlación  $r = 0.76$  para el fosfato,  $r = 0.60$  para el nitrito y  $r = 0.53$  para el oxígeno. Las coordenadas del eje II muestran un conjunto de puntos, denominado Grupo 4 (G-4), que se ubica en un gradiente de menor a mayor transparencia del agua que coincide con la disminución de los factores de carga de la variable respecto al eje II y al contrario, un gradiente de menor a mayor alcalinidad con coeficientes de correlación  $r = 0.67$  y  $r = 0.68$  respectivamente.

El Grupo 1 se constituyó por los sistemas de Laguna, Manta-gua y Algarrobo en las tres fechas de muestreo y se ubicó en el cuarto cuadrante. Presentó las más bajas concentraciones de fosfatos y nitritos con valores fluctuantes entre 0.06-1.78  $\mu\text{g atP/l}$  y 0.03-1.87  $\mu\text{g atN/l}$ . El oxígeno mostró los valores más altos de concentración alcanzando el máximo en el muestreo de noviembre con un valor igual a 8.6 ml/l en 1 desembocadura de Laguna.

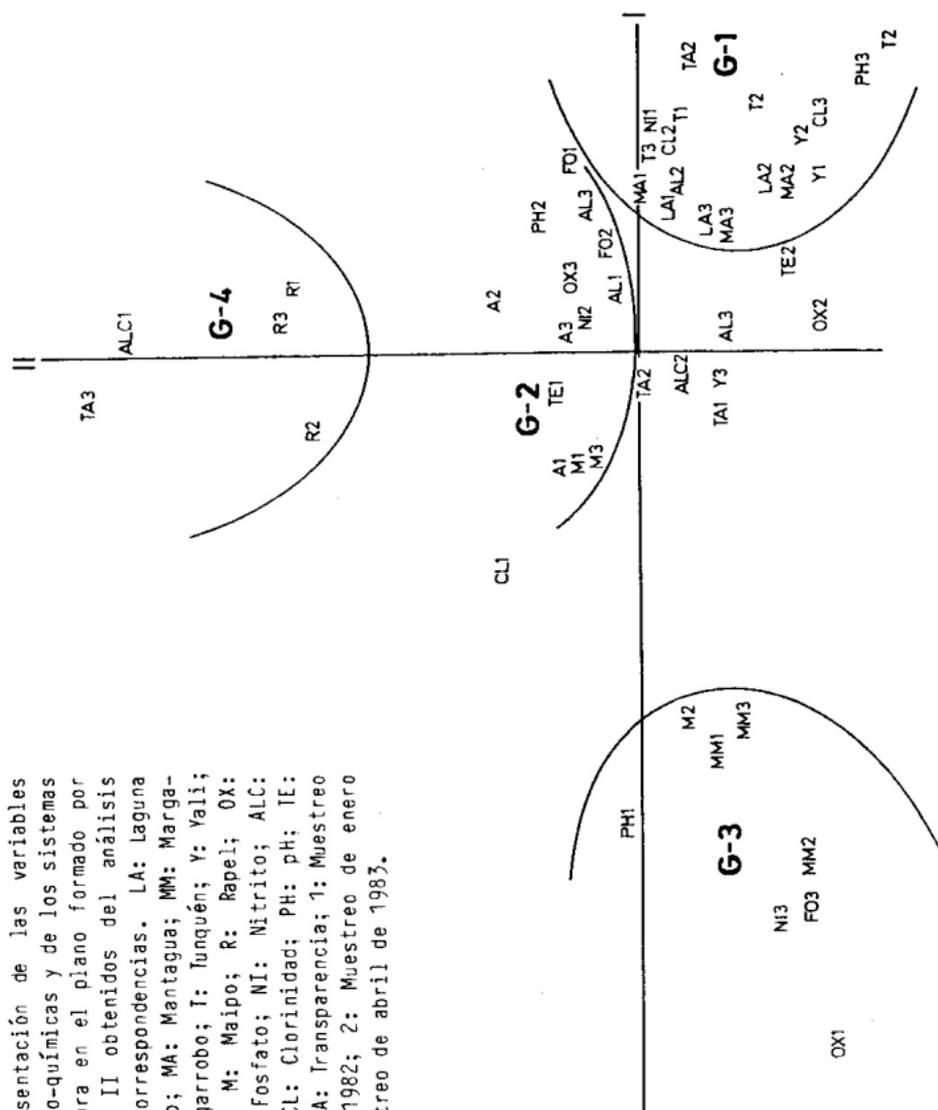
El Grupo 2, formado por los sistemas de Aconcagua, en las tres fechas de muestreo, Maipo y Tunquén, en el muestreo de noviembre y abril, se caracterizó por presentar niveles intermedios en la concentración de fosfatos, nitritos y oxígeno con valores promedio de 0.8  $\mu\text{g atP/l}$ , 4.12  $\mu\text{g atN/l}$  y 4.76 mlO/l.

El Grupo 3, está formado por el sistema de Marga-Marga, en las tres fechas de muestreo, y Maipo, en el muestreo de enero. Este se ubicó en el tercer cuadrante y mostró la más baja concentración de oxígeno alcanzando su valor mínimo en el muestreo de enero (0.94 ml/l), en cambio, los fosfatos y nitritos presentaron las más altas concentraciones alcanzando sus máximos valores en el muestreo de abril, siendo de 166.02  $\mu\text{g atP/l}$  y 20.89  $\mu\text{g atN/l}$ .

#### - Análisis de los ejes I y III

El plano formado por los ejes I y III muestra un grupo de sistemas de desembocadura de ríos, denominado Grupo 5 (G-5), ubicado en el tercer y cuarto cuadrante. Se observan otros dos grupos denominados Grupo 1 (G-1) y Grupo 3 (G-3), que corresponden a los grupos 1 y 3 diferenciados en el análisis del plano formado por los eje I y II y se ubican en el primer y

Fig. 5. Representación de las variables físico-químicas y de los sistemas de desemboadura en el plano formado por los ejes I y II obtenidos del análisis factorial de correspondencias. LA: Laguna de Maitencillo; MA: Mantagua; MM: Marga-Marga; AL: Algarrobo; I: Iunquén; Y: Yalí; A: Aconcagua; M: Maipo; R: Rapel; OX: Oxígeno; FO: Fosfato; NI: Nitrito; ALC: Alcalinidad; CL: Clorinidad; PH: pH; TE: Temperatura; TA: Transparencia; 1: Muestreo de noviembre 1982; 2: Muestreo de enero 1983; 3: Muestreo de abril de 1983.



tercer cuadrante respectivamente (Fig. 6). Las coordenadas del eje I separan estos dos últimos grupos de acuerdo a un gradiente de mayor a menor concentración de fosfato y nitritos que coinciden con la disminución de los factores de carga de ambas variables respecto al eje I con un coeficiente de correlación  $r = 0.76$  para el fosfato y  $r = 0.60$  para el nitrito y, al contrario, un gradiente de menor a mayor concentración de oxígeno con un coeficiente de correlación  $r = 0.53$ . El eje III resulta difícil de interpretar dado que los coeficientes de correlación de las variables ambientales respecto al eje son muy bajos, lo cual no permite una clara identificación de sistemas afines con alguna variable o grupo de variables en particular, sin embargo, en el plano formado por los ejes I y III se observa un agrupamiento de los sistemas de desembocadura de ríos al cual, como ya ha sido señalado, se denominó Grupo 5.

El Grupo 1, formado por los sistemas de Mantagua, Algarrobo y Tunquén, en los muestreos de noviembre y abril, se ubicó en el primer cuadrante y mostró las más bajas concentraciones de fosfatos y nitritos, las cuales corresponden a las observadas en el análisis del plano formado por los ejes I y II para el Grupo 1.

El Grupo 3, formado por el sistema de Marga-Marga, en las tres fechas de muestreo, y Maipo, en el muestreo de enero, corresponde al Grupo 3 diferenciado en el análisis del plano formado por los ejes I y II. Presentó las más altas concentraciones de fosfatos y nitritos y las más bajas concentraciones de oxígeno.

El Grupo 5, se constituyó por los sistemas de Aconcagua, Maipo y Rapel, en las tres fechas de muestreo y se ubicó en el tercer y cuarto cuadrante. Se caracterizó por agrupar a los sistemas de desembocadura de ríos del conjunto de sistemas estudiados. Aun cuando las variables ambientales presentan una baja correlación con el eje III es posible asociar concentraciones intermedias al rango de variación que presentan el fosfato y el nitrito con valores promedios de  $8.0 \mu\text{g atP/l}$  y  $4.26 \mu\text{g atN/l}$ .



## DISCUSION

Los resultados de los análisis químicos y físicos, indican que existe una alta variabilidad ambiental entre los canales principales de los sistemas de desembocadura estudiados. Sin embargo, el ordenamiento de las desembocaduras según el análisis factorial de correspondencias permite distinguir tres grupos de sistemas de acuerdo a su ubicación en los gradientes determinados para la concentración de fosfatos, nitritos, oxígeno, clorinidad y transparencia. Los rangos de variación obtenidos para cada componente químico y físico seleccionado de los sistemas de desembocadura, confirman la existencia de tres tipos de estructuras ambientales, los cuales corresponden a los grupos obtenidos en el análisis de correspondencias. La descripción de cada una de las estructuras identificadas se presenta en las Tablas 3, 4 y 5.

La definición de las estructuras ambientales identificadas para los grupos I, II y III de sistemas de desembocadura se establece, principalmente a través de una escala relativa de variabilidad ambiental, en cada Grupo, de acuerdo a los coeficientes de variación que presentaron cada uno de los componentes analizados, asignándoles el rango uno (1) a aquella variable que presentó la mayor variación y el rango ocho (8) al componente de menor variación. Esta información se complementa con los rangos de variación de cada una de las variables obtenidas en diferentes épocas de muestreo.

Las variables nitritos, oxígeno y fosfatos, fueron determinantes en el ordenamiento efectuado por el análisis factorial para el conjunto de muestreos estudiados. Estas tres variables se relacionan con procesos de eutrofización de las aguas, ya que altos niveles de nitritos y fosfatos y bajos niveles de oxígeno se asocian a aguas eutrofizadas y con polución de origen orgánico, situación que caracterizó al Grupo I. El Grupo II y III, estaba formado por sistemas que no presentaban características estructurales propias de los sistemas más eutrofizados ya señalados, sino sistemas con aguas poco impactadas por la creciente actividad humana de estas cuencas de Chile central.

## LITERATURA CITADA

- Benzecri, J.P. 1973. *L'Analyse des Données*. Dunod, París. 619 pp.
- Conover, W.J. 1971. *Practical Nonparametrical Statistics*. John Wiley, New York. 462 pp.
- Dixon, J.W. & J.F. Massey. 1979. *Introducción al análisis estadístico*. McGraw-Hill, México. 489 pp.
- Estrada, M. 1975. Statistical consideration of some limnological parameters in Spanish reservoirs. *Verhandlungen der International Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 19: 1849-1859.
- Leighton, G. 1985. El manejo de ecosistemas de desembocaduras de ríos y esteros. *Ambiente y Desarrollo*, 2: 149-154.
- Leighton, G., R. Ugarte & E. Lobo. 1984. Variación espacio-temporal de la composición química en aguas de desembocadura. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 29 (1): 55-57.
- Pino, M. & S. Mulsow. 1983. Distribución de facies granulométricas en el estuario del río Queule, IX Región: un análisis de componentes principales. *Revista Geología de Chile*, 18: 77-85.
- Strickland, J.H. & R. Parsons. 1968. A practical handbook of sea water analysis. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 167: 1-311.

TABLA 1. Resumen de los análisis estadísticos efectuados para determinar la variabilidad en la composición químico-física de los sistemas de desembocadura. (+) = no rechaza hipótesis nula; (-) = rechaza hipótesis nula; / = condición final determinada por análisis estadísticos paramétricos (Normalidad, Bartlett y Anova) o no paramétricos (Kruskal-Wallis).

	Normalidad	Bartlett	Anova	Kruskal Wallis	Condición Final
Oxígeno	(+)	(+)	(-)	/	Variable
Fosfato	(+)	(-)	/	(-)	Variable
Nitrato	(+)	(-)	/	(-)	Variable
Alcalinidad	(+)	(-)	/	(-)	Variable
Clorinidad	(+)	(-)	/	(-)	Variable
pH	(+)	(+)	(-)	/	Variable
Temperatura	(+)	(+)	(+)	/	Constante
Transparencia	(-)	/	/	(-)	Variable

TABLA 2. Porcentaje acumulado de explicación de la varianza para la composición químico-física en el análisis factorial de correspondencias.

EJE	% DE EXPLICACION DE LA VARIANZA TOTAL	% ACUMULADO
I	18.943	18.943
II	15.444	34.387
III	12.719	47.106
IV	9.731	56.837
V	8.843	65.680
VI	7.378	73.058





TABLA 5. Composición de la estructura ambiental en el Grupo III en la desembocadura de Mantagua.

Sistemas de desembocadura	Escala de Variabilidad Ambiental (a. s.)	Coeficientes de Variación (%)	fechas de Muestreo	Clorofitas (µg)	Transparencia (cm)	Rangos temperatura (°C)	Variación			pH	
							Nitró (µg at/l)	Óxígeno (ml/l)	Fosfato Alcalinico (Mec/l)		
Mantagua	1 Clorofitas	37,2	A (noviembre 1982)	1,26-1,45	12 - 20	18 - 19	5,05	6,76-7,22	1,58	3,45-3,53	3,0-3,4
	2 Transparencia	64,3									
	3 Temperatura	70,4									
	4 Nitró	40,8									
	5 Óxígeno	45,3	B (enero 1983)	4,38-4,57	7 - 15	25 - 26	1,72-1,90	4,03-5,19	3,55-1,25	4,61-5,24	3,2-3,4
	6 Fosfato	20,5									
	7 Alcalinidad	7,4									
	8 pH	3,0	C (abril 1983)	7,25-10,72	10 - 20	18 - 19	2,49-6,95	3,40-4,40	1,57-2,47	4,16-4,57	8,6-8,3