

EVALUACION Y CUANTIFICACION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS FLUVIALES DE BIZKAIA

Begoña G. de Bikuña**
Luis Docampo**
Iñaki Benito*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es conocer, mediante análisis factoriales, aquellos factores que mayor incidencia tienen en la composición química de las aguas fluviales de Vizcaya, y que determinan su dinámica espacio-temporal.

Así, se obtienen tres ecuaciones que son la expresión matemática de los tres componentes principales (los únicos estadística y biológicamente significativos). En el primer eje son más importantes las sales o elementos conservativos que las variables implicadas en los ciclos del C, N, P y Si. El segundo eje representa el sistema carbónico-carbonatos siendo el tercero un eje ligado a la estructura física del cauce. Estos ejes permiten conocer la respuesta del ecosistema ante determinadas alteraciones, condición necesaria para elaborar medidas tendentes a su protección.

SUMMARY

The aim of this study is to know the main factors determining the chemical composition of the water and its spatio-temporal dynamics in the rives of Biscay by mean of factorial analysis.

Thus, three equations, which are the mathematical expression of the first three principal components (i.e. the axes with statistical and biological meaning) have been obtained. These equations enable the response of the ecosystem induced by changes in standard conditions to be predicted, this being necessary to elaborate the protection measures.

LABURPENA

Idazlan honetan, Bizkaiko ibaien konposaketa kimikoa eta beraien dinamika espazio-denborata kontrolatzen dituzten faktoreak ebaluatu dira analisi faktorialen bidez. Modu honetan, hiru ekuazio, hau da, hiru osogai printzipalen azalpen matematikoa lortu dira, azken hauek, esanahi estatistiko eta biologiko dituzten ekuazio bakarrak direlarik.

Ekuazio hauek, alde batetik, ibai-ekosistemaren erantzuna ezagutzea baimentzen dute, kanpotiko aldakuntzaren bat azalzen deneko kasuetan, eta bestetik, ibaien babez-neurriak egiteko baldintz baliogarriak dira.

* Dpto. de Biología Vegetal y Ecología.

** Dpto. de Biología Animal y Genética U.P.V./E.H.U. Facultad de Ciencias. U.P.V./E.H.U. Apdo. 644, 48080 BILBAO.

INTRODUCCION

La composición físico-química de las aguas fluviales de Bizkaia ha sido objeto de diversas publicaciones en las cuales se ha determinado la existencia de cinco grupos de mineralización (G. DE BIKUÑA, 1989), se han analizado las implicaciones ecológicas del análisis del sistema redox de la materia orgánica (G. DE BIKUÑA & DOCAMPO, 1989), elaborándose un modelo de conductividad basado en el análisis de las variables conservativas. (DOCAMPO & G. DE BIKUÑA, 1989). Todos ellos analizan determinados aspectos de la dinámica del medio fluvial aunque no ofrecen una visión sistémica de las características físico-químicas de las aguas fluviales de Bizkaia.

Un principio metodológico de la ecología establece la necesidad de prestar atención no sólo a la estructura y función de los ecosistemas, sino también, y muy especialmente al resultado de las alteraciones inducidas por cualquier fenómeno extraño al funcionamiento normal del ecosistema bajo estudio. Al comprobar la forma en que reaccionan los ecosistemas ecológicos a las perturbaciones, podemos comprender mejor los mecanismos específicos que rigen sus funciones.

En este sentido y con objeto de determinar aquellos factores tanto externos como internos (morfometría, geología, vegetación, actividad humana, actividad biológica etc.), que son determinantes en la composición química de las aguas y que además inciden en la variabilidad espacio-temporal de la misma, se han aplicado técnicas multivariantes utilizando en concreto el análisis de componentes principales.

Esta técnica multivariante es utilizada comúnmente en estudios ecológicos ya que permite establecer cuáles son los factores que más intervienen en la composición físico-química de las aguas objeto de estudio. En la mayoría de los casos se obtiene una cualificación del sistema definida por dos componentes principales (MARGALEF, 1983).

a. La componente I que representa un eje de mineralización, caracterizado por diferentes variables inorgánicas (conductividad, alcalinidad, pH, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , dureza, etc.).

b. La componente II, donde se agrupan las variables proporcionales al conjunto de la materia orgánica (eje de eutrofización) como son: NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SiO_4^{4-} , D.Q.O., etc.

Este tipo de análisis permite evaluar el grado de mineralización, eutrofización y contaminación de aquellos puntos o zonas que han sido estudiadas y resulta más útil cuando se pretende realizar una ordenación de los datos, en nuestro caso de los tramos de ríos, puntos muestreados ó cuencas estudiadas además nos posibilita deducir la estructura de la cuenca y su funcionamiento (SABATER, 1987).

MATERIAL Y METODOS

Area de estudio

Para el presente estudio fueron seleccionadas 13 cuencas importantes y 6 pequeñas cuencas costeras que conforman la práctica totalidad de la red hidrográfica provincial.

En general, la mayor parte de los ejes principales de los ríos estudiados están altamente polucionados debido tanto a vertidos urbanos como industriales. En algunos casos esta degradación afecta a toda la extensión de los ríos estudiados (Nervión, Ibaizabal), aunque existen tramos y sobre todo arroyos que todavía mantienen una alta calidad en sus aguas.

Teniendo en cuenta que, para lograr los objetivos fijados era necesario coger el mayor número de ambientes posibles, el muestreo que se realizó fue del tipo extensivo situándose un número muy elevado de estaciones de muestreo (175) que se muestrearon en el período comprendido entre febrero de 1985 y diciembre del mismo año. La frecuencia del muestreo fue estacional, siendo la recogida de la campaña de invierno entre el 1 de febrero y el 21 de marzo, la de primavera entre el 19 de abril y el 18 de junio, la de verano entre el 10 de julio y el 20 de agosto y por último, la campaña de otoño se realizó entre el 26 de octubre y el 17 de diciembre.

La relación de las estaciones de muestreo, en la cual se señala su localización geográfica (nombre del río, localidad, coordenadas U.T.M.) así como algunas características morfológicas (distancia al origen, pendiente, altitud) y datos sobre la geología de cada estación figuran en DOCAMPO et al, 1989).

Metodología

En cada estación de muestreo se tomaron muestras de agua, además de anotarse otros parámetros físicos como anchura del cauce, perfil del cauce para determinar la sección, velocidad de la corriente y caudal (mediante fórmulas matemáticas que relacionan la sección del cauce con la velocidad media). La cantidad de agua que se tomaba para las determinaciones químicas es de aproximadamente 2,5 litros que se recogían en diferentes recipientes convenientemente lavados en el laboratorio y enjuagados "in situ" con agua del río. Se utilizaban dos tipos de recipientes: botellas de polietileno y frascos de vidrio color topacio, este último para la determinación de los fosfatos. La muestra para el análisis de nitratos, nitritos, amonio y materia orgánica se fijaba con ácido sulfúrico recogiendo en bote separado la muestra de silicatos que no se fijaba. Una submuestra se recogía independientemente para la determinación de la alcalinidad que se realizaba en el día no fijándose la muestra. La muestra para fosfatos se fijaba con 40 ml de Cl_2Mg y la muestra para la determinación de aniones y cationes se introducía en una cámara fría a 4°C hasta su análisis.

En el lugar del muestreo se medían las siguientes variables: Temperatura del agua, pH, conductividad referida a 25°C y oxígeno mientras en el laboratorio se analizaron los siguientes parámetros: alcalinidad, cloruros, dureza, calcio, magnesio, sulfatos, sodio, potasio, fosfatos, nitratos, nitritos, amonio, silicatos, materia orgánica disuelta y materia orgánica del sedimento. Debido a que no se determinó el residuo seco, las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos no se pudieron calcular mediante nomogramas (APHA, AWWA, WPCE, 1980) por lo que se hizo uso de las constantes de las reacciones que intervienen en el sistema carbónico-carbonatos, tabuladas para diferentes temperaturas en STUMM & MORGAN, 1981.

En general tanto para la metodología de la fijación de muestras como para las técnicas analíticas utilizadas se han seguido las normas indicadas en el Standard Methods (APHA, AWWA, WPCE, 1980; GOLTERMAN, 1969) eligiendo las que más se ajustaban a nuestros objetivos así como los más asequibles.

La visión sintética de la físico-química se ha realizado mediante un análisis de componentes principales, aplicado a una matriz de orden (539,24), es decir, con 539 filas que representan a todas las estaciones de muestreo en las cuatro épocas del año, y 24 variables físico-químicas (variables de mineralización + variables de nutrientes), mediante el paquete-

te estadístico (BMDP, 4M). Para conocer el número de componentes principales con significación estadística se ha aplicado el test de Anderson (ANDERSON, 1963 IN CUADRAS, 1981). Con objeto de obtener la mayor eficiencia en el análisis, los datos fueron normalizados de acuerdo a su función de densidad ya que se comprobó que la utilización contagiosa de la transformación logarítmica a todas las variables, sin analizar cada distribución en particular, podía conducir a error (G. DE BIKUÑA, 1989). Las transformaciones que acercaban a 0 los valores de Kurtosis y sesgado fueron \sqrt{x} , $6\sqrt{x}$, $\log(1+x)$ and $\log(x)$. Este procedimiento ha resultado ser muy efectivo al discriminar las variables que verdaderamente tienen peso en los análisis multivariantes (FOECKLER & SCHRIMPF, 1985; SCHRIMPF & FOECKLER, 1985; G. DE BIKUÑA, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSION

En general, Bizkaia tiene una red fluvial muy poco densa aproximadamente 0,65 Km/Km² de superficie provincial. Este hecho puede deberse entre otros, a dos factores principales: la infiltración de agua bajo la superficie del terreno y la densa cobertura vegetal en las zonas rurales (DOCAMPO et al, 1989). Según la clasificación de STRAHLER (1977) la baja densidad de drenaje de la red fluvial de Bizkaia sería indicadora de una litología dominada por materiales de textura gruesa. En este sentido el perfil longitudinal de los ríos principales (fig. 1) pone de manifiesto rupturas a distintas cotas que pueden asignarse a una superposición de etapas erosivas o a la influencia litológica.

Una vez obtenidos los resultados del análisis de componentes principales el primer objetivo consistió en determinar el número de esas componentes y en definir las.

En la **tabla 1** se indican los valores propios y las varianzas explicadas por cada componente ($V(\%) = 100 \times \lambda_k / \sum \lambda_i$). Aplicando el test propuesto por Anderson a dicha Tabla se obtiene:

$$\chi^2 = 12,80; g.l. = 5,$$

que es estadísticamente significativo para una probabilidad de 0,05. Por lo tanto, podemos considerar que las tres últimas componentes son equivalentes, $\lambda_3 \approx \lambda_4 \approx \lambda_5 \approx \lambda_6$. Es decir, solamente los tres primeros ejes deben ser tenidos en cuenta y, representan un porcentaje acumulado de variabilidad explicada del 73%.

Aplicando el teorema de Pitágoras y la función coseno a las coordenadas de las distintas variables, en los planos formados por las componentes I-II y I-III se pueden determinar sus correlaciones ($\cos^2 a$) con dichas componentes (**tabla 2**). De tal manera que, cuanto mayor sea la distancia de una variable al origen de coordenadas y más próxima esté a una componente, mayor será su contribución a la varianza explicada por ésta.

Los valores de los cosenos cuadrados de la tabla 2 son índices que miden la calidad de representación de las variables en los planos I-II y I-III y por lo tanto, indican el tanto por uno de la varianza de cada variable que es explicado por cada componente principal. La inferencia estadística de r^2 ha sido realizada a partir de las coordenadas de las variables en las 6 componentes principales y en consecuencia el número de grados de libertad para comprobar la significación de cada coseno cuadrado es $n-2 = 4$. Con cuatro grados de libertad el valor crítico de r^2 para que la significación estadística sea positiva, debe ser mayor o igual a 0,657. Este método nos permite analizar los planos factoriales I-II y I-III (**fig. 2**) como un

sistema caracterizado por las siguientes componentes principales:

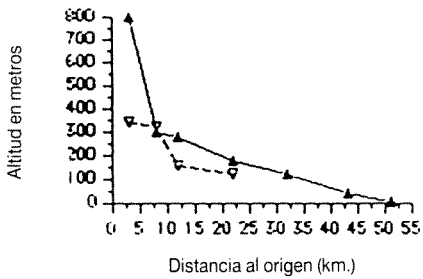
A) *Componente principal I*. Definida positivamente y en orden decreciente de importancia, según los valores de $\cos^2 a$ (tabla 2), por las variables: conductividad, cloruros, dureza, ortofosfatos, calcio, bicarbonato y alcalinidad. En menor grado también destacan el nitrito y el sulfato. Sobre la parte negativa del eje I se sitúan la pendiente y el oxígeno pero con una contribución a dicho eje de unas dos veces menos que las variables positivas anteriormente citadas. El magnesio, potasio, anchura del cauce, D.Q.O., nitrato, amonio, temperatura y porcentaje de saturación de oxígeno son variables redundantes —por su intercorrelación con las otras— o que carecen de significación estadística (contribuyen muy poco a la varianza explicada por la componente) como es el caso de la D.Q.O.

Componente Principal	Valor propio (λ_i)	Varianza Explicada (V%)	Varianza Acumulada (%)
I	6,911	40,86	40,86
II	3,048	18,02	58,88
III	2,406	14,23	73,11
IV	1,947	11,51	84,62
V	1,373	8,12	92,74
VI	1,228	7,26	100,00

Tabla 1. Valores propios (λ_i) y varianza explicada (V%) de cada componente principal del A.C.P. aplicado a la matriz general de puntos de muestreo y de todas las variables físico-químicas.

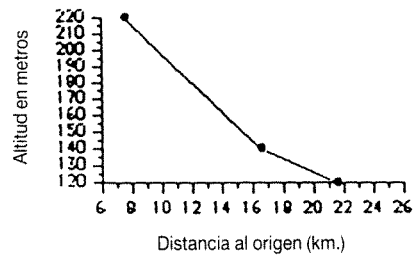
VARIABLE-F-Q	I	II	III
pH	0,0004	0,866	0,00568
Temperatura	0,191	0,003	0,00339
Conductividad	0,910	0,026	0,00040
Oxígeno	0,302	0,264	0,14397
% saturación de O ₂	0,238	0,295	0,12143
Alcalinidad	0,657	0,250	0,06999
Dureza	0,795	0,079	0,00133
Calcio	0,715	0,117	0,00126
Magnesio	0,256	0,048	0,00006
Cloruros	0,838	0,064	0,00307
Sulfatos	0,631	0,028	0,085312
Ortofosfatos	0,763	0,146	0,0013659
Nitritos	0,643	0,143	0,0218488
Nitratos	0,265	0,022	0,0001664
Amonio	0,463	0,196	0,0144242
Ortosilicatos	0,00023	0,142	0,543678
Potasio	0,519	0,199	0,000002
Mat. Org. (D.Q.O.)	0,025	0,0013	0,044678
Carbonatos	0,086	0,818	0,002365
Bicarbonatos	0,657	0,239	0,080398
Anchura del cauce	0,167	0,031	0,020980
Caudal	0,005	0,0004	0,924324
Pendiente	0,395	0,00014	0,480415
Distancia al origen	0,082	0,0016	0,842578

Tabla 2. Correlaciones (cuadrados de los cosenos) de las variables físico-químicas con las tres primeras componentes principales (planos I-II y I-III).



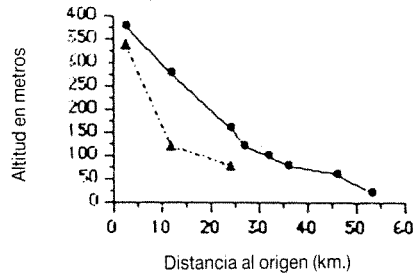
A.- Perfil longitudinal de los rios Altube y Nervión

▣ ALTUBE
▣ NERVION



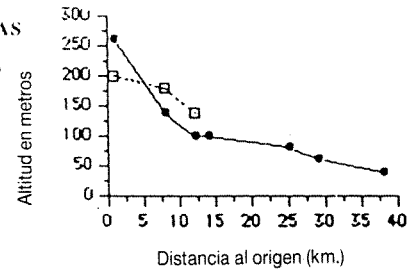
B.- Perfil longitudinal del rio Agüera

▣ AGÜERA



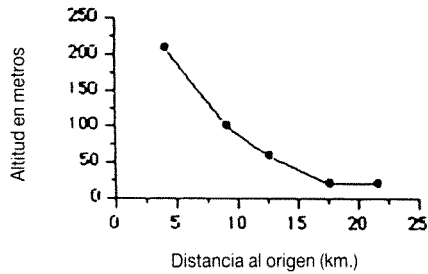
C.- Perfil longitudinal de los rios Herrerias y Cadagua

▣ HERRERIAS
▣ CADAGUA



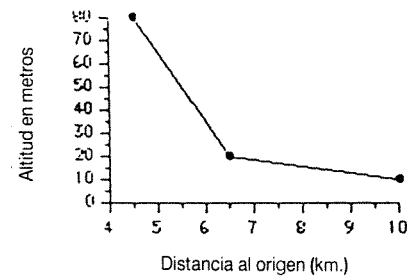
D.- Perfil longitudinal de los rios Ibaizabal y Elorrio

▣ ELORRIO
▣ IBAIZABAL



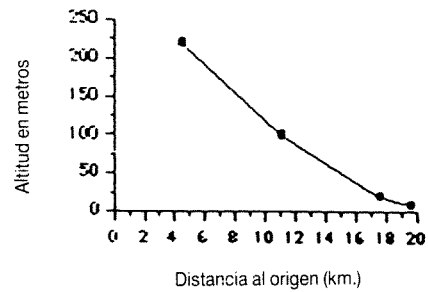
E.- Perfil longitudinal del rio Lea

▣ LEA



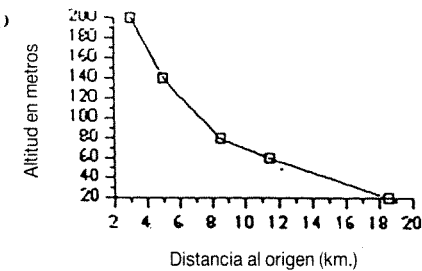
F.- Perfil longitudinal del rio Oka

▣ OKA



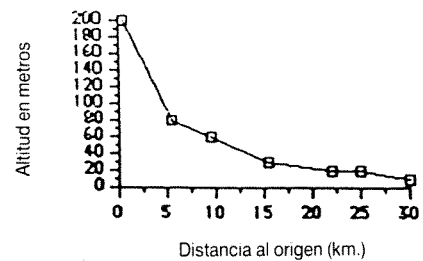
G.- Perfil longitudinal del rio Mercadillo

▣ MERCADILLO



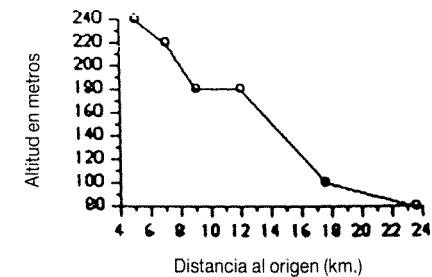
H.- Perfil longitudinal del rio Artibai

▣ ARTIBAI



I.- Perfil longitudinal del rio Butron

▣ BUTRON



J.- Perfil longitudinal del rio Arratia

▣ ARRATIA

Fig. 1. Perfiles longitudinales de los principales rios estudiados.

Podemos escribir la primera componente principal como:

$$[Y1 = a1(\text{conductividad}) + a2[\text{Cl}^-] + a3(\text{dureza}) + a4[\text{PO}_4^{3-}] + a5[\text{Ca}^{2+}] + a6[\text{HCO}_3^-] + a7.(\text{Alk}) + a8[\text{NO}_2^-] + a9[\text{SO}_4^{2-}] - a10[\text{O}_2] - a11(\text{pendiente})]$$

la cual determina un eje de mineralización y de enriquecimiento en elementos y compuestos relacionados con la descomposición de la materia orgánica, pero siendo mucho más importantes las sales o elementos conservativos que las variables implicadas en los ciclos del C, N, P y Si.

Químicamente este eje se traduce en un incremento de los factores coligativos del agua, por regla general desde las cabeceras fluviales a las desembocaduras.

B) *Componente principal II.* Caracterizada por el pH y la concentración de carbonatos, lo cual es obvio, ya que solamente a pH alto la $[\text{CO}_3^{2-}]$ es alta.

El eje $Y2 = b1(\text{pH}) + b2[\text{CO}_3^{2-}]$ representa al sistema carbónico-carbonatos.

C) *Componente principal III.* Determinada positivamente por el caudal y la distancia al origen y, negativamente en menor proporción por la concentración de ortosilicatos totales.

Por lo tanto, $Y3 = O1(\text{caudal}) + O2(\text{distancia al origen}) - O3[\text{ortosilicatos}]$.

$Y3$ representa a un eje físico longitudinal, cabecera-desembocadura. La posición de los ortosilicatos en la parte negativa del eje III se debe a que las zonas bajas de la mayoría de los grandes ríos del Gran Bilbao (Cadagua, Nervión, Ibaizabal, Galindo, Gobelas y Asua) están sometidas a vertidos industriales constituidos en gran parte por ácido silícico y silicatos (G. DE BIKUÑA, 1989).

A partir de la representación de los puntos de muestreo en el plano factorial I-II podemos estudiar el comportamiento del sistema en las cuatro épocas del año (figs. 3a, 3b, 3c, 3d). En general, las estaciones pertenecientes al grupo I de mineralización (G. DE BIKUÑA; 1989; tabla 17) y algunos afluentes del primer orden de los otros grupos se sitúan en el tercer cuadrante mientras que la mayor parte de las del grupo II se encuentran en el segundo cuadrante con tendencia a desplazarse hacia la parte positiva del eje I.

Ambos grupos presentan en común el estar constituidos por cabeceras fluviales de fuerte pendiente, aguas no contaminadas de régimen muy turbulento y alta concentración de oxígeno, sin embargo, difieren en su distinta composición litológica —parte del grupo I es predominantemente silicio y el II es más calizo— y como consecuencia, los ríos del grupo II como el Lea y los ríos costeros, tienen valores más altos de calcio, alcalinidad y pH y tienden a situarse hacia la parte superior del eje II (fig. 3a). Por el contrario, los ríos del grupo I como el Carranza presentan aguas neutras o con un pH ligeramente inferior a 7 y mayores concentraciones de ortosilicatos, luego es lógico que se sitúen en torno a la bisectriz del tercer cuadrante.

Las estaciones de los grupos de mineralización III, IV y V, que se encuentran en condiciones naturales (no sometidas a vertidos, sobre todo los procedentes de emisarios industriales) están caracterizadas por aguas con una conductividad media superior a $390 \mu\text{S}/\text{cm}$ (G. DE BIKUÑA, 1989; tabla 17), debida principalmente al calcio, cloruro y a su alcalinidad, pero al mismo tiempo su pH medio varía entre 7,60 y 8,14, por lo cual se sitúan en el primer cuadrante, pudiéndose diferenciar aquellas estaciones que están más correlacionadas con el pH de las que presentan aguas con altas concentraciones de iones conservativos —especialmente calcio y bicarbonato— y en consecuencia más relacionadas con la alcalinidad y

VARIABLE	GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III	GRUPO IV	GRUPO V
Conductividad	145,65 ± 10,38	302,30 ± 8,85	395,0 ± 18,10	533,6 ± 35,70	658 ± 31,2
Alcalinidad	0,90 ± 0,095	2,43 ± 0,08	2,71 ± 0,083	3,70 ± 0,16	3,83 ± 0,10
Calcio	24,651 ± 2,378	55,412 ± 3,714	73,709 ± 2,879	71,601 ± 2,353	118,634 ± 9,132
Magnesio	5,417 ± 0,683	4,767 ± 0,249	5,525 ± 0,327	7,284 ± 0,585	12,934 ± 2,207
Sodio	16,689 ± 2,18	25,912 ± 2,114	29,527 ± 4,436	31,227 ± 1,913	35,696 ± 2,423
Potasio	3,378 ± 0,404	4,423 ± 0,28	3,665 ± 0,258	6,01 ± 0,468	2,764 ± 0,57
Dureza	82,62 ± 5,80	151,9 ± 3	187,40 ± 4,72	210 ± 6,63	358 ± 27,50
pH	7,60 ± 0,123	7,74 ± 0,036	8,00 ± 0,032	7,60 ± 0,039	8,14 ± 0,074
Cloruros	14,13 ± 1,57	20 ± 0,92	24,53 ± 2,83	37,3 ± 2,90	37,82 ± 4,36
Sulfatos	16,14 ± 1,29	47,10 ± 6	48,90 ± 5,33	45,8 ± 4,70	173 ± 0,74
Ortosilicatos	58,50 ± 5,80	74,3 ± 2,50	65,08 ± 2,84	87,5 ± 4,14	63,6 ± 5,30
Ortofosfatos	1,10 ± 0,17	3,80 ± 0,50	2,17 ± 0,50	13,5 ± 2,30	2,80 ± 0,78
Nitratos	0,84 ± 0,14	0,88 ± 0,09	0,71 ± 0,05	1,8 ± 0,14	1,23 ± 0,10
Nitritos	3,59 ± 0,58	19,6 ± 3,25	7,60 ± 1,04	35 ± 4,70	22,16 ± 7,25
Amonio	0,16 ± 0,05	0,70 ± 0,15	0,20 ± 0,059	0,8 ± 0,23	0,10 ± 0,05
Mat. Orgánica	28,38 ± 11,94	19,20 ± 3,10	14,11 ± 2,87	12,9 ± 2,21	14,1 ± 11,25
M.O. sedimento	2,96 ± 2,21	1 ± 0,076	0,94 ± 0,08	1,50 ± 0,15	1,5 ± 0,20
Oxígeno	11,52 ± 0,46	10,48 ± 0,14	10,90 ± 0,15	9,0 ± 0,23	10,4 ± 0,73
% sat. oxígeno	102,56 ± 403	97 ± 1,27	102 ± 1,54	87,1 ± 2,30	105,8 ± 3,67
Temperatura	10,68 ± 0,73	17,60 ± 0,34	12,6 ± 0,34	14,2 ± 0,32	14,3 ± 0,85

Tabla XVII. Valores medios y errores estándar de las principales variables físico-químicas en los distintos grupos de mineralización estudiados (tomada de G. de Bikuña, 1989).

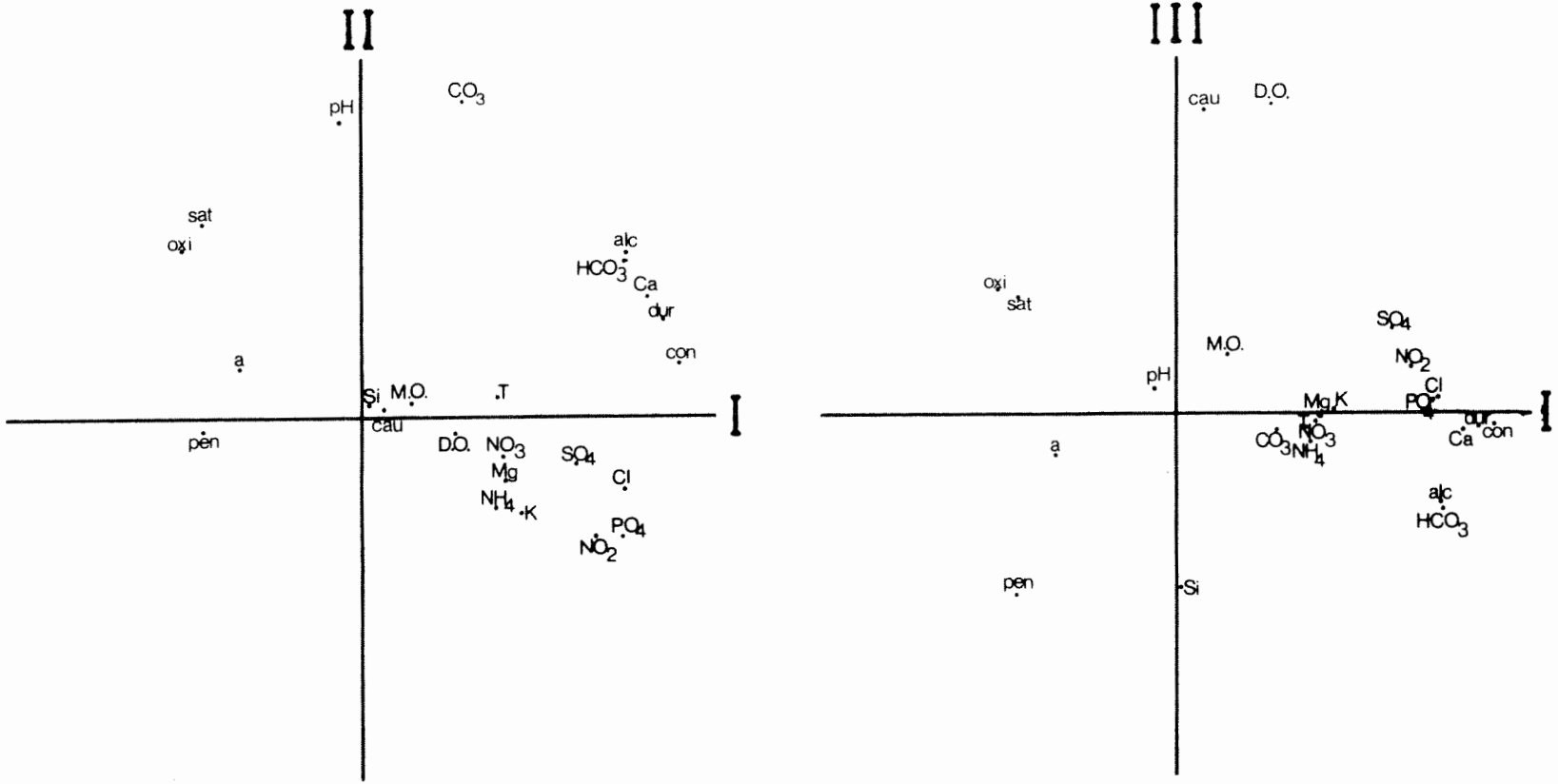


Figura 2. Planos factoriales I-II y I-III del ACP realizado para el conjunto de los datos. Ordenación de las variables en dichos planos.

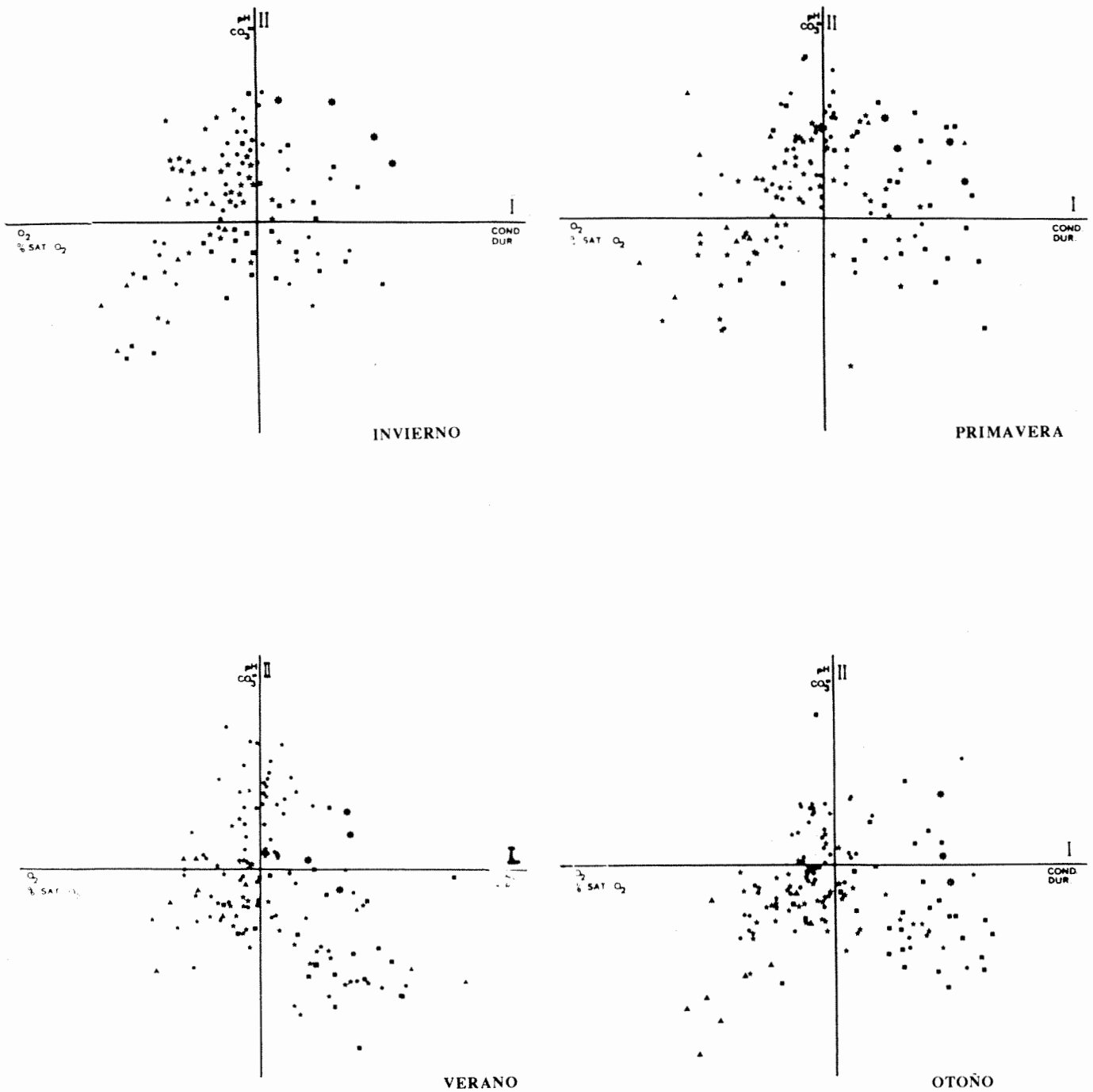


Fig. 3. Ordenación de las estaciones en el plano I-II del ACP. Las estaciones se señalan según su pertenencia a uno u otro grupo de mineralización. ▲ = 1, ★ = 2, ● = 3, ■ = 4, * = 5. a) Muestras de Invierno; b) Muestras de Primavera; c) Muestras de Verano y d) Muestras de Otoño.

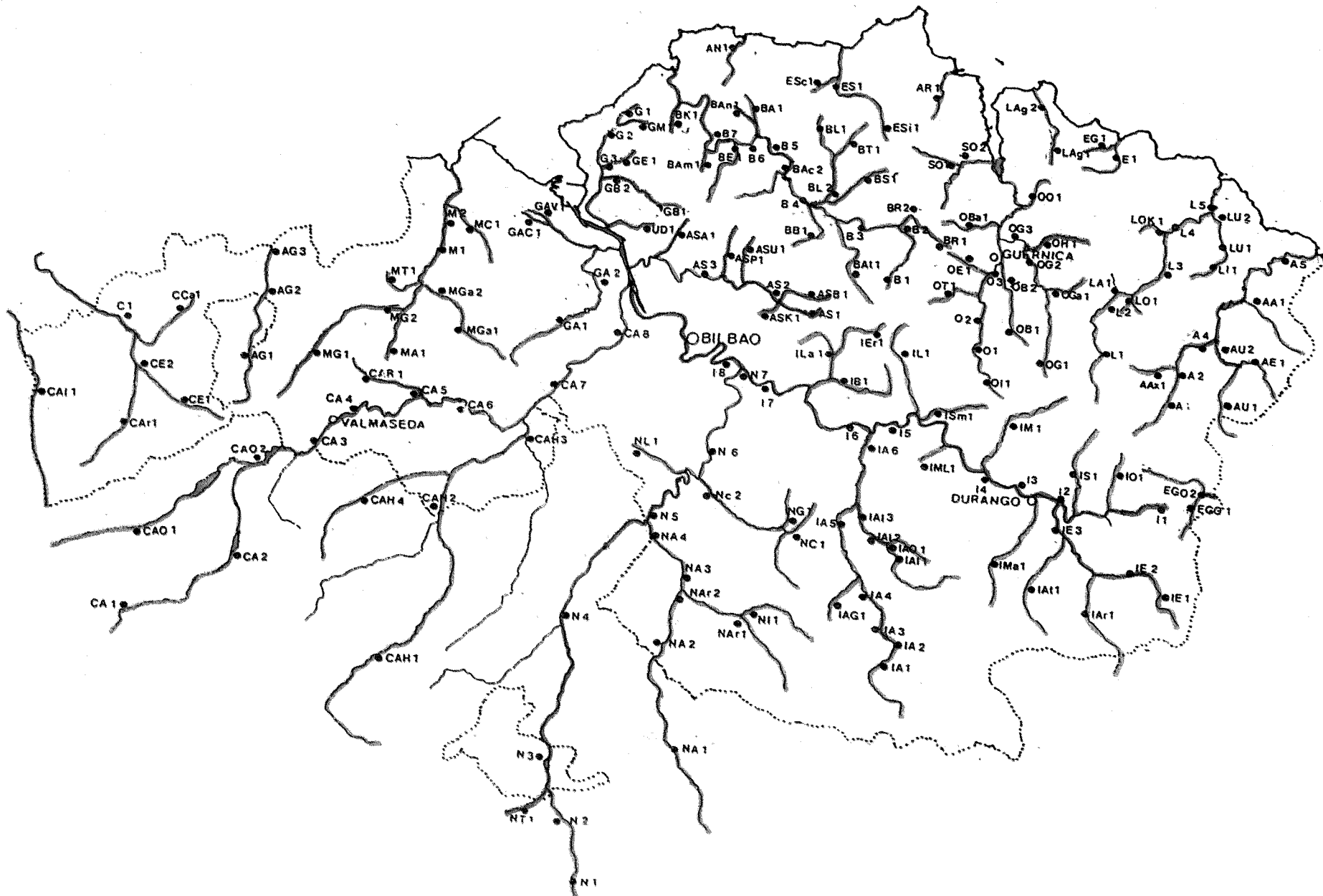


Fig. 4. Mapa de calidad de los ríos vizcainos elaborado a partir de los resultados del ACP de verano. Color azul, tramos en estado natural. Verde, estaciones que presentan tanto eutrofización natural como cultural (sobrealimentación). Rojo, fuerte contaminación orgánica (predominio de este tipo de contaminación). Morado, contaminación de tipo mixto (industrial + orgánica) aunque con predominio de la primera.

conductividad. En el primer caso destacan la cabecera del río Herrerías, el Ordunte, los afluentes de primer orden del Nervión y Oka, el Mercadillo y la cabecera del Cadagua (estación CA-1) y, en el segundo caso se encuentran las estaciones del diapiro de Villasana de Mena (CA-2, CA-3, CA-4 y CA-5), algunos afluentes del Asua (ASB-1, ASP-1), el río Bolue y la cabecera del río Butrón (B-1, B-2, B-3, B-4, BR-1 BB-1 y BAC-2).

El cuarto cuadrante está ocupado por aquellas estaciones en las que tiene mayor ponderación el sulfato, cloruro, amonio, nitrito, ortofosfato y ortosilicato. Se trata de lugares que alcanzan valores muy altos de conductividad pero debido principalmente a la sobrecarga de dichos iones, la cual tiene un origen antropogénico. De hecho, las variables SO_4^{2-} y Cl^- deberían estar situadas en torno a la conductividad (fig. 2), sin embargo, las altas concentraciones de SO_4^{2-} tienen su origen en los vertidos industriales de H_2SO_4 y las de Cl^- en los residuos de los grandes núcleos urbanos. Además, se ha demostrado la relación existente entre NH_4^+ y SO_4^{2-} y como los valores de conductividad debidos a sobrecargas son indicadores de contaminación (G. DE BIKUÑA, 1989). En consecuencia, este cuadrante está ocupado por estaciones sometidas a contaminación industrial y/o urbana que, en condiciones naturales deberían ocupar el primer cuadrante. Estas estaciones pertenecen a las zonas medias y bajas de los grandes ríos: Cadagua, Nervión, Ibaizabal, Gobelas, Asua, los ríos Ballonti y Cotorrio (afluentes del Galindo) y las estaciones B-5, B-6 (Butrón), O-4 (Oka en Gernika) y A-4 (río Artibai en Urberuaga).

Químicamente se observa que las estaciones de orden 1 pertenecientes a aquellos ríos que atraviesan substratos litológicos constituidos por calizas y silicatos se sitúan en el tercer cuadrante por tener un $6 \leq \text{pH} \leq 7,6$ mientras que las cabeceras fluviales cuya litología es predominantemente calcárea y por tanto, el HCO_3^{2-} y el Ca^{2+} son los iones mayoritarios, ocupan el segundo cuadrante, debido a la hidrólisis de la caliza ($\text{pH} > 7,6$) y a medida que el sistema se desplaza hacia la derecha, lo cual implica un aumento en la distancia al origen (componente III), tiene lugar un incremento en la mineralización puesta de manifiesto en el aumento de la dureza y la reserva alcalina de las aguas, lo cual es corroborado por el carácter ligeramente básico de éstas. Sin embargo, en las estaciones que están afectadas por residuos industriales y urbanos, muchos de ellos de carácter ácido (industria metalúrgica), se produce un desplazamiento del sistema carbónico-carbonatos hacia el cuarto cuadrante (fig. 3a). Este desplazamiento compensa el exceso de hidrogeniones con lo cual disminuye la alcalinidad y el pH, el cual alcanza valores mínimos de hasta 3,4 en I-7 (Otoño-fig. 3c).

Evidentemente, en este proceso intervienen de una manera decisiva a lo largo del año, la temperatura y el caudal, de tal manera que en invierno y primavera el sistema es aproximadamente simétrico (figs. 3a y 3b), observándose una crisis en la composición y calidad de las aguas de algunas estaciones. Por el contrario, en verano y otoño (figs. 3c y 3d) el sistema se encuentra desplazado hacia el cuarto cuadrante, con lo cual aquellas zonas cuya composición química del agua no reflejaba su estado, en verano y otoño se obtiene una información más real sobre su situación.

Por lo tanto, hemos elegido la época de verano para cuantificar la calidad fisico-química de las aguas. Teniendo en cuenta la posición de las estaciones en el plano factorial I-II de verano (fig. 3c) y la distancia entre ellas y al origen, hemos determinado que el 47,20% en kilómetros de la red fluvial estudiada presenta aguas de buena calidad y en estado natural, el 24,30% son aguas caracterizadas por eutrofiza-

ción natural y artificial (sobrealimentación), el 9,20% se encuentra afectado de fuerte contaminación orgánica y el 19,29% está sometido a contaminación industrial y/o orgánica (tabla 3 y fig. 4).

CALIDAD DEL AGUA	ESTACIONES GRUPO DEL		LONGITUD		GRUPO DE NUTRIENTES	
	Nº	(%)	Km	(%)	ACPT (verano)	
Estado natural	83	49,13	248,8	47,20	A	2º y 3º cuadrante
Eutrofización	40	23,27	128,1	24,30	B	1º cuadrante
Contamin. org.	11	6,03	48,5	9,20	C	4º cuadrante
Contamin. org. y/o industrial	36	21,55	101,7	19,29	D	4º cuadrante

Tabla 3. Análisis de la contaminación de las aguas de los ríos de Bizkaia basado en los resultados de dos análisis de componentes principales. Uno aplicado a las variables relacionadas con la descomposición de la materia orgánica —nutrientes— (G. de Bikuña & Docampo, 1989) y otro el realizado con todas las variables fisico-químicas (ACPT, plano factorial I-II) en la época de verano.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, T.W., 1963. Asymptotic theory for principal component analysis. *Ann. Math. Statist.* 24: 122-148. In: CUADRAS, C.M., 1981. *Métodos de análisis multivariante*. Ed. Universitaria de Barcelona, pp 642.
- APHA, AWWA, WPCP., 1980. *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater*. XIV ed. Washington, pp 1193.
- CUADRAS, C.M., 1981. *Métodos de análisis multivariante*. Ed. Universitaria de Barcelona, pp 642.
- DOCAMPO L, G. DE BIKUÑA, B, RICOE & RALLOA. 1989. "Morfometría de las cuencas de la red hidrográfica de Bizkaia". *Linnetica*, 5:51-67.
- DOCAMPO L. & G. DE BIKUÑA B., 1989. Análisis de las variables conservativas en las aguas fluviales de Bizkaia: Modelo matemático de conductividad. *Resúmenes del V Congreso Español de Limnología. R-5*. Banyoles.
- FOECKLER, F. & SCHRIMPFF, E., 1985. Gammarids in stream of northeastern Bavaria, F.R.G. II. The different hydrochemical habitats of *Gammarus fossarum* KOCH, 1835 and *Gammarus roeseli* GERVAIS, 1835. *Arch. Hydrobiol.* 104 (2): 269-286.
- G. DE BIKUÑA, B., 1989. *Análisis de las características físico-químicas y de las taxocenosis de Amphipoda e Isopoda (Clase Crustácea) de los ríos de Bizkaia: Tipificación abiótica de la red fluvial e interrelación entre el medio abiótico y biótico*. Tesis Doctoral. Universidad de León. 510 pp.
- G. DE BIKUÑA & DOCAMPO, L., 1989. Evaluación de los componentes biogénicos de sus aguas. *Resúmenes del V Congreso Español de Limnología. R-6*. Banyoles.
- GOLTERMAN, H.L. (Ed), 1969. *Methods for Chemical Analysis of Freshwaters*. IBP Handbook 8, Blackwell, Oxford.
- MARGALEF, R., 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona, pp 1010.
- SABATER, F., 1987. *Estudi integrat del riu Ter i la seva conca: les característiques de l'aigua i els factors que le determinen*. Tesis doctoral. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona, pp 330.
- SCHRIMPFF, E. & FOECKLER, F., 1985. Gammarids in stream of northeastern Bavaria, F.R.G. I. Prediction of their general occurrence by selected hydrochemical variables. *Arch. Hydrobiol.* 103 (4): 479-495.
- STRAHLER, A.N. 1977. *Geografía física*. Omega. Barcelona. 767 pp.
- STUMM, W. & MORGAN, J.J., 1981. *Aquatic chemistry: An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*. Ed. A. Wiley-Interscience Publication. New York. pp 780.