*Ecología*, N.° 3, 1989, pp. 63-74 ICONA, MADRID

# CAMBIOS ESPACIO TEMPORALES EN LA COMPOSICION QUIMICA DE LOS RIOS CADAGUA, BUTRON, OKA, LEA Y ARTIBAI

EMMA ORIVE[1] y A. BASAGUREN[1]


## RESUMEN

Se han ordenado mediante análisis de componentes principales datos correspondientes a determinaciones de 17 variables físico-químicas en las cuencas de los ríos Cadagua, Butrón, Oka, Lea y Artibai en tres épocas del año. En el espacio de los tres primeros ejes, que explican en todos los casos más del 50% de la varianza total, se ponen de manifiesto diferencias temporales, por causas hidrológicas y biológicas, y diferencias geográficas, atribuibles estas últimas a cambios en el sustrato geológico y a los diferentes usos del suelo.

Las aguas de estas cuencas son bicarbonatadas cálcicas, con elevado contenido en cloruros y sulfatos, presentando, en general, una conductividad alta.

La conductividad se puede expresar en función del calcio, que explica un elevado porcentaje de su variabilidad en todas las cuentas.

Los elementos no conservativos tienen, en general, un comportamiento diferente al de las demás variables. Así, los silicatos son más abundantes en algunas cabeceras y arroyos, y los nitratos y fosfatos aumentan con el caudal, excepto en los sitios muy contaminados. En los cauces principales se observa espacialmente una mayor inercia química en las últimas estaciones, que aparecen más próximas en el gradiente de mineralización-eutrofización puesto de manifiesto en los análisis de componentes principales. El río Cadagua, por su elevada conductividad, presenta una elevada inercia química desde las primeras estaciones. Las diferencias longitudinales en los cauces de mayor recorrido son más acusadas en la época de menor caudal.

La materia orgánica, estimada mediante la oxidabilidad al permanganato, aumenta con la conductividad y los fosfatos en los cauces principales del Cadagua y Butrón, considerados como los más humanizados. No sigue esta misma tendencia, sin embargo, en los ríos Oka, Lea y Artibai, donde esta variable tiene también importancia en los tramos altos y en la época de mayor caudal.


## INTRODUCCION

El conocimiento de las características físico-químicas de los ríos se hace imprescindible para interpretar la estructura de las comunidades de organismos que pueblan sus cauces. Entre las posibles variables físico-químicas a determinar en estos sistemas, algunas, como Ca, Mg, Na, K, Cl y SO, son responsables del grado de mineralización del agua y están muy correlacionadas entre sí y con la conductividad (MARGALEF, 1983). Estos iones mayoritarios están poco influidos por la actividad de los organismos y el valor que adquieren depende fundamentalmente de la naturaleza del sustrato geológico que atraviesa el río, de los suelos que drena, de la composición de la atmósfera circundante, de las precipitaciones y de los usos del suelo. Hay otros componentes cuya concentración, sin embargo, sí está muy influida por la actividad de los organismos, como son el oxígeno y los compuestos inorgánicos de nitrógeno, el fosfato y el silicato. Estos últimos son nutrientes de los productores primarios y como tales su concentración suele disminuir en la época de máximo crecimiento de tales organismos. A estos cambios estacionales, más pa-

[1] Laboratorio de Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad del País Vasco. Apartado 644. Bilbao.

tentes en lagos y ríos de largo recorrido (CAPBLANQ y TOURENQ, 1978), se superponen cambios a menor escala temporal debido a la gran interacción que mantiene el sistema acuático con su entorno terrestre y a los aportes urbanos e industriales (PRAT *et al.*, 1984).

Dentro del «Estudio hidrobiológico de Bizkaia» (EUSKOIKER, 1988) y como base para una caracterización ecológica de su red hidrográfica, se han realizado análisis físico-químicos del agua con el objetivo de conocer el grado de mineralización y el grado de eutrofia de sus cauces principales. En un trabajo previo (ORIVE *et al.*, 1989) se hizo un estudio global comparativo de toda la red hidrográfica en base a estas variables. En este artículo se presentan los resultados correspondientes a cada una de las cuencas principales, a excepción de la del Nerbión-Ibaizábal, que dada su extensión será objeto de un trabajo posterior.

## DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

Los ríos estudiados son de pendiente acusada, a excepción del Butrón, corto recorrido y carácter predominantemente torrencial, dominando en su trayecto los procesos de erosión y transporte sobre los de sedimentación. El sustrato es pedregoso y las riberas sólo están provistas de vegetación, bien estructurada en algunos tramos altos. El clima es templado húmedo, con precipitaciones superiores a 1.200 mm de media anual. Durante el período de estudio se registró una época de muy escasas precipitaciones, que se extendió desde el verano hasta el otoño tardío.

Las cuencas se dedican a usos agrícolas y forestales en sus tramos altos y medios, con núcleos urbanos de más baja densidad que en los tramos bajos, donde predominan las actividades industriales y se asientan las principales ciudades.

Por lo que respecta al sustrato geológico, el río Cadagua tiene su origen en terrenos del Triásico, con ofitas, arcillas abigarradas, yesos y halita. Después atraviesa formaciones del Cretácico inferior, compuesto fundamentalmente por limonitas, margas calcáreas, calizas arcillosas, arenistas y arcillas. El río Butrón atraviesa un sustrato del Cretácico superior, formado por margas y arcillas, presentando algunas intrusiones de rocas volcánicas y ofitas en los arroyos situados a la derecha del cauce principal. El río Oka tiene su nacimiento en terrenos del Cretácido superior formados por margas, arcillas e intrusiones volcánicas. En su parte baja atraviesa, sin embargo, terrenos del Triásico compuestos por ofitas, margas, arcillas y yesos. Los ríos Lea y Artibai nacen en terrenos del Cretácico superior y atraviesan a continuación terrenos del Cretácico inferior compuestos por margas calcáreas, calizas arcillosas, areniscas, arcillas y limonitas.

## METODOS

Se han situado 15 estaciones en la cuenca del río Cadagua, 20 en la del Butrón, 15 en la del Oka, 11 en la del Lea y 10 en la del Artibai, en las que se han tomado muestras en cuatro épocas durante el año 1985. En este estudio se presentan los resultados de las tres campañas, en las que se han medido las mismas variables (en invierno no se determinó la oxidabilidad al permanganato). Estas campañas se realizaron en épocas correspondientes a dos condiciones hidrológicas: precipitaciones elevadas (primavera y otoño tardío) y precipitaciones escasas (verano y primera parte del otoño).

El pH, la temperatura, la conductividad y el oxígeno se determinaban *in situ*, utilizándose para el oxígeno un oxímetro (WTW) y un monitor Orión con sensores específicos para las demás variables.

La alcalinidad se determinó por volumetría; el cloro, según el método argentamétrico; los sulfatos, por turbidimetría; la dureza, el calcio y el magnesio por complexometría, y los nutrientes (fosfatos, nitratos, nitritos, sulfatos), por colorimetría. Como una estima de la cantidad de materia orgánica del agua se utilizó la técnica de oxidabilidad al permanganato. Estos métodos se han basado en los descritos en GOLTERMAN *et al.* (1978), en el STANDARD METHODS (1975) y en STRICKLAND y PARSONS (1972).

Con los datos, que están recopilados en el informe final del proyecto (EUSKOIKER, 1988), se realizó un análisis de componentes principales por cuenca incluyendo todas las variables a excepción de sodio y potasio, que en los tratamientos preliminares no aportaron ninguna información. Se realizaron, además, análisis de regresiones múltiples paso a paso entre la conductividad como variable dependiente y la alcalinidad, calcio, magnesio, cloruro y sulfato como variables independientes. En ambos casos se

han realizado los tratamientos con los datos transformados (con el objetivo de estabilizar la varianza) y sin transformar. La transformación utilizada para todas las variables, a excepción del pH y temperatura, fue $lg(x+0{,}001)$ (ESTRADA, 1975) no obteniéndose, sin embargo, diferencias significativas entre los tratamientos con variables transformadas y sin transformar. Resultados semejantes han sido obtenidos por otros autores para el mismo tipo de datos (MORRIS, 1987), por lo que solamente se presentan los tratamientos de los datos sin transformar, ya que tanto la ordenación de las muestras con el análisis de componentes principales como la relación entre variables mediante regresión múltiple ha sido la misma y con el mismo significado ecológico.

Para la ordenación de los datos mediante análisis de componentes principales se ha utilizado el paquete estadístico SPAD (LEBART y MORINEAU, 1982). Entre las posibles representaciones gráficas de ayuda a la interpretación de los ejes (CARREL *et al.*, 1986) se ha elegido la representación de la carta factorial de las estaciones, por ser la que permitía unas diferenciaciones geográficas y temporales claras. Las regresiones múltiples paso a paso se han realizado con el programa STATVIEW (1986) de Macintosh.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla I se representan los datos de las variables físico-químicas en cada cuenca para cada época del año. Por lo que respecta a la ordenación de las variables, en la Figura 1 del análisis de componentes principales aparecen representadas las estaciones de la cuenca del Cadagua en las tres épocas estudiadas. El primer eje, que explica el 30% de la varianza total (Tabla II), representa el incremento de mineralización y eutrofización que se pròduce desde la primavera hasta el otoño en el cauce principal y las diferencias entre éste y los ríos Ordunte y Herrerías. Se superponen, por tanto, cambios geográficos y temporales. Estos cambios geográficos se deben, en parte, a las diferencias litológicas existentes entre el río Ordunte, escasamente mineralizado, y el río Cadagua, que presenta una conductividad elevada desde su origen por atravesar terrenos del Triásico con arcillas, yesos y halita. El río Ordunte se sitúa en el extremo menos mineralizado y eutrofizado del plano factorial, seguido del río Herrerías y del cauce principal del Cadagua. En este último se diferencian claramente las tres épocas de muestreo, incrementándose la concentración de fosfatos y de los iones responsables de la mineralización del agua con la disminución del caudal, que tuvo lugar fundamentalmente en verano y otoño. En la Tabla III aparecen representados los valores de la correlación de las diferentes variables con los tres primeros ejes factoriales del análisis de componentes principales. Se observa la elevada correlación del primer eje, con cloruros, sulfatos, dureza, alcalinidad, conductividad y fosfatos.

Además, se observa en el cauce principal, en cada época, un gradiente longitudinal desde la estación 2 hasta la 7 y la 8, consideradas como las más eutrofizadas al presentar los valores más elevados de oxidabilidad al permanganato, fosfatos, nitratos, nitritos y amonio. La concentración de silicatos es más elevada en las primeras estaciones del Cadagua, disminuyendo con la distancia al origen. Esto contribuye también a esta diferenciación longitudinal alrededor del segundo eje factorial y se manifiesta más en la época de menor caudal, que en el caso del Cadagua coincidió con el otoño. Este tercer eje está, pues, muy correlacionado positivamente con silicatos y negativamente con los demás nutrientes.

En torno al primer eje, las diferencias temporales son mayores que las espaciales, lo que denota que este río, debido a la elevada carga iónica que tiene desde su origen, adquiere desde las primeras estaciones la inercia química que caracteriza a los tramos bajos de los ríos (MARGALEF, 1983; FERNÁNDEZ ALÁEZ *et al.*, 1985; SABATER y ARMENGOL, 1985).

En el plano factorial del análisis realizado con las muestras de la cuenca del Butrón (Fig. 2), la época de verano aparece claramente separada de las otras dos épocas, con concentraciones más elevadas de fosfatos y nitratos, mayor conductividad y mayor valor de oxidabilidad al permanganato (Tabla III). Las diferencias geográficas se basan en el mayor contenido en silicatos y magnesio de los afluentes situados a la derecha del río principal, que circulan sobre terrenos conteniendo ofitas. Se observa el gradiente longitudinal del río principal en las tres épocas, con una mayor proximidad química en todas ellas en las estaciones 4, 5, 6 y 7. Parte, al menos, de los sulfatos parecen tener un origen distin-

TABLA I

Valores extremos de cada variable en cada cuenca y en cada época del año

| Variables | CADAGUA Primavera (mín.-máx.) | CADAGUA Verano (mín.-máx.) | CADAGUA Otoño (mín.-máx.) | BUTRON Primavera (mín.-máx.) | BUTRON Verano (mín.-máx.) | BUTRON Otoño (mín.-máx.) | OKA Primavera (mín.-máx.) | OKA Verano (mín.-máx.) | OKA Otoño (mín.-máx.) | LEA Primavera (mín.-máx.) | LEA Verano (mín.-máx.) | LEA Otoño (mín.-máx.) | ARTIBAI Primavera (mín.-máx.) | ARTIBAI Verano (mín.-máx.) | ARTIBAI Otoño (mín.-máx.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pH | 7,5-8,6 | 7-8,3 | 7-9,3 | 7,3-9 | 6,4-7,7 | 7,2-8,7 | 7,4-8,5 | 7,6-8,8 | 7,5-8,3 | 7,4-8 | 7,7-9,1 | 7,2-7,9 | 7,4-8,4 | 7,5-8,3 | 7,2-8,1 |
| Temperatura | 11,5-17,5 | 13-19,5 | 6-18 | 13-21 | 14-23 | 10-15 | 11-15 | 15-22 | 3-11,5 | 9-12 | 15-20 | 5-8,5 | 11-12 | 14-21 | 6-8 |
| Conductividad | 141-709 | 189-883 | 71-1.870 | 123-749 | 237-784 | 225-693 | 125-456 | 222-472 | 130-469 | 152-356 | 249-375 | 127-232 | 161-445 | 237-484 | 153-272 |
| Oxígeno | 7,6-13,7 | 4,6-11,9 | 0,76-15 | 8,5-16,8 | 2,1-11,67 | 2,47-16,6 | 9,7-12,5 | 8-13,6 | 10,6-14,4 | 14-16,2 | 8,9-12,75 | 11,7-13,4 | 10,3-14,4 | 5-12,1 | 10,9-13,3 |
| % saturación | 78-129 | 49-125 | 10-170 | 85-177 | 23-134 | 24-157 | 94-120 | 79-140 | 84-117 | 125-146 | 92-138 | 99-107 | 93-130 | 54-123 | 92-106 |
| Alcalinidad | 0,48-4,2 | 1,3-4,5 | 0,92-7 | 0,2-4,8 | 1,5-5,3 | 1,5-8,8 | 0,56-4,3 | 1,5-3,7 | 0,88-3,72 | 1-2,4 | 1,8-3,2 | 1,36-2,9 | 1,1-3,9 | 0,28-0,58 | 1,14-3,04 |
| Dureza | 64-320 | 96-380 | 57-488 | 60-328 | 96-300 | 150-340 | 56-236 | 110-230 | 80-230 | 66-150 | 130-200 | 100-160 | 70-200 | 100-212 | 90-180 |
| Calcio | 22,4-112,2 | 32-127 | 12-148 | 16,03-102,7 | 25,7-100,2 | 44-112 | 12-84,2 | 33,7-80,2 | 22,4-80,2 | 19,2-50,5 | 40-68,14 | 28,05-57,7 | 22,5-72,2 | 32-79 | 30,5-68,2 |
| Magnesio | 0,48-16,8 | 2,4-16,3 | 1,5-32 | 3,84-19,2 | 0,96-17 | 0-20 | 2,4-9,6 | 0,24-8,2 | 2,4-8,16 | 2,4-7,7 | 3,8-9,6 | 0,5-16,8 | 2,4-7,2 | 0,5-5,3 | 0-4,3 |
| Cloro | 6-87,3 | 6,4-152 | 8,9-153 | 12-58,2 | 17,8-58,2 | 16,3-65,3 | 11,7-22 | 11,3-25,2 | 14,9-41,9 | 10,6-18,1 | 9,2-26,7 | 13,8-24,14 | 10,6-18,5 | 10,3-49,3 | 14,2-21,6 |
| Sulfatos | 9,3-129 | 13-308 | 7,7-552 | 3,7-41,9 | 14,3-205,6 | 4,9-120 | 4,3-18,2 | 15,7-33 | 9,2-40,2 | 3,6-18,6 | 15,6-27,6 | 8,7-16,11 | 10,8-15,5 | 16,4-22,4 | 11,5-20 |
| Fosfatos | 0,09-4,7 | 0,14-7,6 | 0,45-13,5 | 0,3-26,6 | 0,23-54,2 | 0,33-75,2 | 0,28-1,25 | 0,09-1,28 | 0,33-60,7 | 0,66-4,14 | 0,08-2,6 | 0,43-1,87 | 0,25-3,31 | 0,14-12,7 | 0,9-4,4 |
| Nitritos | 0,8-10,2 | 0,2-83 | 1,4-81 | 0,7-93 | 0-135,4 | 0,4-195 | 2,5-22,4 | 1,23-105 | 1,4-8,53 | 3,5-14 | 0,2-63 | 1,97-14,27 | 0,5-7,6 | 1,9-631,2 | 4,9-35,3 |
| Nitratos | 0,09-2,78 | 0-2,5 | 0,25-4,8 | 0,15-216 | 0,04-1,82 | 0,10-10,7 | 0-1,16 | 0,003-1,03 | 0,28-207 | 0,19-1,17 | 0,05-0,7 | 0,39-1,57 | 0,4-0,90 | 0,03-0,94 | 0-1,8 |
| Amonio | 0-0,8 | 0-1,8 | 0,02-0,8 | 0-0,6 | 0,05-25 | 0-2,5 | 0-0,25 | 0-10 | 0,02-0,4 | 0-0,2 | 0-2,4 | 0,05-0,6 | 0-0,4 | 0,05-0,3 | 0-1 |
| Silicatos | 6,2-77 | 5,6-120 | 14,9-102,6 | 11,6-158 | 4,85-113,7 | 13,14-150,4 | 0,55-106,2 | 32,5-141 | 28,8-127,3 | 48-116 | 60,5-1.625 | 80,13-119,8 | 4,4-64,4 | 0-123 | 24,2-113 |
| Sodio | 6-40 | 0-35 | 5-40 | 12-90 | 9-40 | 20-45 | 8-32,5 | 0-35 | 5-40 | 4,5-35 | 0-40 | 5-30 | 5,5-39 | 5-25 | 5-25 |
| Potasio | 0,3-3,7 | 0-7,8 | 0-8 | 0,3-9,4 | 1-12,2 | 3-10 | 1,6-13,5 | 0-10 | 0-11 | 1,4-18 | 2-8 | 0-8,3 | 0,3-20 | 2-7,5 | 1-6 |
| Mat. orgánica | 0-9,5 | 3-9,6 | 3-93 | 0-10,8 | 1,7-6,9 | 1,5-8,2 | 0-18,8 | 1,1-3 | 2,8-11,1 | 2,6-35,3 | 1,1-3,8 | 2,7-4,9 | 1,1-4,5 | 2,8-5,6 | 3,8-8,6 |

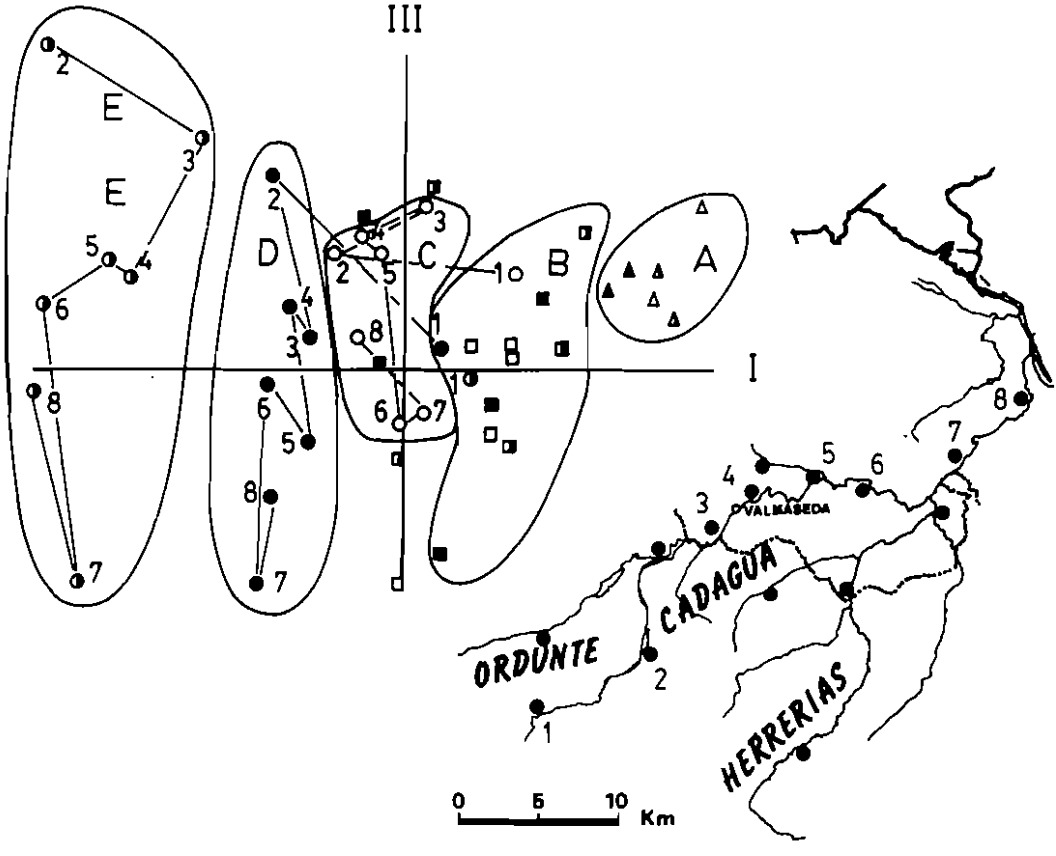


Fig. 1. Posición de las estaciones de la cuenca del Cadagua en el plano de los ejes I y III. A) Río Ordunte. B) Río Herrerías y estación 1 del Cadagua. C) Río Cadagua en primavera. D) Río Cadagua en verano. E) Río Cadagua en otoño. Símbolos claros (○△□), primavera. Símbolos llenos (●▲■↑), verano. Símbolos semillenos (◑◭◧), otoño.

to al litológico, ya que abundan en los sitios más contaminados y se oponen al pH y al $Ca^{++}$ sobre el plano factorial, lo que denota su probable origen por precipitación ácida o vertidos, ya que si procediera de gypsita estaría relacionado con el calcio a no ser que éste precipite con fosfatos y/o carbonatos, liberando así los sulfatos (MARGALEF, 1983; GOLTEMAN, 1985).

TABLA II

Porcentaje de varianza explicado por los tres primeros ejes de los análisis de componentes principales realizados en las diferentes cuencas

| Cuenca | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| Cadagua | 33 | 15 | 12 |
| Butrón | 37 | 16 | 11 |
| Oka | 26 | 15 | 11 |
| Lea | 34 | 14 | 13 |
| Artibai | 30 | 20 | 14 |

En la cuenca del río Oka el primer eje tiene un claro sentido geográfico y separa los ríos Oka y Berrakondo de los arroyos situados a su derecha (Fig. 3). Esta separación se basa en la mayor mineralización del Oka y Berrakondo, mientras que la concentración de silicatos es mayor en los arroyos. En un estudio previo realizado en esta cuenta (ORIVE y ARTEAGA, 1985) se pudieron delimitar, en base a

TABLA III

Valores de la correlación entre las variables físico-químicas y los tres primeros ejes del análisis de componentes principales

| Variables | CADAGUA | | | BUTRON | | | OKA | | | LEA | | | ARTIBAI | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
| pH | −0,21 | −0,14 | −0,06 | 0,14 | −0,78 | 0,20 | 0,33 | 0,75 | −0,29 | −0,75 | 0,23 | 0,17 | 0,07 | 0,17 | 0,10 |
| Temperatura | −0,27 | 0,08 | 0,08 | 0,14 | 0,17 | −0,53 | −0,23 | 0,75 | −0,35 | −0,71 | 0,13 | 0,61 | 0,71 | 0,27 | −0,54 |
| Conductividad | −0,70 | 0,02 | −0,03 | −0,76 | −0,26 | −0,45 | 0,87 | 0,34 | −0,17 | −0,75 | −0,19 | 0,33 | 0,74 | −0,42 | −0,38 |
| Oxígeno | 0,49 | −0,73 | 0,19 | 0,65 | −0,67 | 0,00 | −0,21 | 0,40 | 0,83 | 0,90 | −0,16 | 0,10 | 0,91 | −0,15 | −0,06 |
| Saturación ox. | 0,39 | −0,73 | 0,16 | 0,65 | −0,62 | −0,11 | −0,29 | 0,69 | 0,59 | 0,64 | −0,06 | 0,56 | −0,76 | −0,04 | −0,44 |
| Alcalinidad | −0,75 | −0,14 | −0,12 | −0,58 | −0,51 | −0,42 | 0,92 | 0,11 | 0,07 | −0,72 | −0,42 | −0,26 | −0,43 | −0,70 | 0,19 |
| Dureza | −0,78 | −0,51 | 0,13 | −0,80 | −0,50 | 0,02 | 0,94 | 0,20 | 0,00 | −0,88 | −0,30 | −0,16 | 0,49 | −0,70 | −0,24 |
| Calcio | −0,72 | −0,54 | 0,09 | −0,71 | −0,54 | −0,15 | 0,93 | 0,17 | 0,01 | −0,81 | −0,50 | −0,20 | 0,52 | −0,69 | −0,16 |
| Magnesio | −0,78 | −0,32 | 0,20 | −0,36 | 0,01 | 0,56 | 0,17 | 0,17 | −0,01 | −0,10 | 0,54 | 0,14 | −0,10 | −0,10 | −0,39 |
| Cloruro | −0,84 | 0,26 | 0,05 | −0,85 | 0,04 | 0,04 | 0,30 | −0,49 | −0,39 | −0,28 | −0,39 | 0,38 | 0,59 | 0,08 | 0,41 |
| Sulfato | −0,86 | −0,10 | 0,16 | −0,42 | 0,42 | −0,05 | −0,26 | 0,20 | −0,15 | −0,68 | 0,14 | 0,37 | 0,57 | 0,61 | −0,30 |
| Fosfato | −0,69 | 0,17 | −0,02 | −0,83 | 0,09 | 0,09 | 0,14 | −0,29 | 0,43 | 0,20 | −0,53 | 0,62 | 0,77 | 0,03 | 0,44 |
| Nitrito | −0,10 | −0,35 | −0,83 | −0,69 | 0,19 | 0,13 | −0,27 | −0,01 | −0,29 | −0,15 | 0,28 | 0,41 | 0,72 | 0,07 | 0,26 |
| Nitrato | −0,05 | −0,22 | −0,91 | −0,70 | −0,05 | 0,24 | 0,54 | −0,44 | 0,23 | 0,18 | −0,59 | −0,39 | −0,01 | −0,61 | 0,55 |
| Amonio | −0,24 | −0,01 | −0,80 | −0,35 | 0,22 | −0,29 | −0,17 | 0,20 | −0,26 | −0,32 | 0,28 | −0,19 | 0,01 | −0,31 | 0,63 |
| Silicato | −0,09 | 0,10 | 0,41 | −0,24 | −0,22 | 0,79 | −0,63 | −0,02 | −0,17 | −0,38 | 0,70 | −0,29 | −0,12 | 0,65 | 0,32 |
| Mat. orgánica | −0,47 | 0,61 | −0,20 | −0,61 | −0,10 | −0,14 | 0,12 | −0,35 | 0,09 | 0,33 | −0,03 | 0,25 | −0,11 | 0,58 | 0,35 |

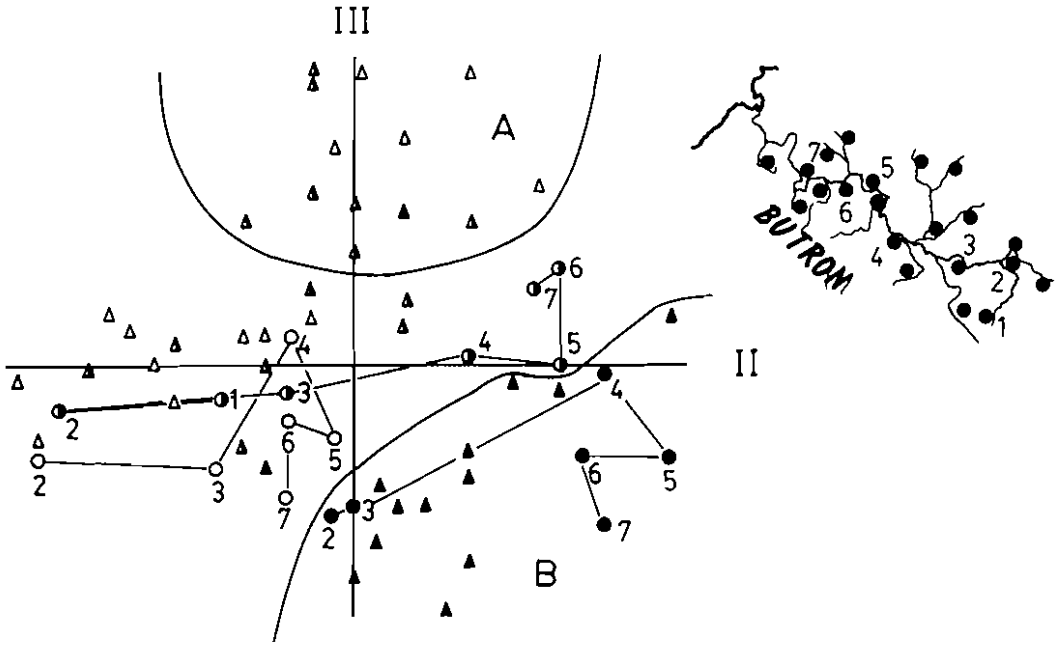


Fig. 2. Posición de las estaciones de la cuenca del Butrón en el plano de los ejes II y III. Río principal (círculos). Arroyos (triángulos). A) Arroyos de la derecha del cauce principal. B) Arroyos y cauce principal en verano. Los demás símbolos como en la Fig. 1.

análisis físico-químicos, diferentes unidades ambientales, constituyendo estos arroyos el grupo de menor mineralización. Hay, además, una clara diferenciación de las tres épocas en el Oka y Berrakondo y de dos (verano y primavera-otoño) en los arroyos.

En verano aumenta el pH y la concentración de oxígeno, que ya es abundante, en general, en todos los sitios y épocas a excepción del cauce principal en otoño. Este aumento parece deberse a la fotosíntesis, ya que coincide, además, con disminución de los valores de nitratos, fosfatos y silicatos.

El aumento de cloro, sodio, fosfatos, nitratos y materia orgánica al aumentar el caudal puede deberse al mayor lavado del suelo y al efecto pulverizador del mar, que con las precipitaciones hace aumentar el contenido en cloro del agua. El aumento de la concentración de nutrientes con el caudal puede deberse también a un mayor lavado del suelo, provisto de fertilizantes y desforestado en gran parte. Estos resultados coinciden con los de otros autores (CASEY, 1977; CAPBLANQ y TOURENQ, 1978; FERNÁNDEZ ALÁEZ *et al.*, 1985), si bien en algunas cuencas poco alteradas este aumento puede deberse a que el agua de lluvia contiene más nutrientes que el propio río (AVILA I CASTELLS, 1984).

El primer eje del análisis factorial realizado con las muestras de la cuenca del Lea separa las épocas de verano de las de otoño e invierno, que aparecen, a su vez, diferenciadas en torno al segundo eje (Fig. 4). En verano aumenta la conductividad, calcio, dureza, pH, sulfatos, silicatos y alcalinidad. Sin embargo, en primavera-otoño aumenta la concentración de oxígeno, que fue elevada, en general, durante todo el período de estudio. Hay, además, un gradiente geográfico longitudinal en el río principal que se mantiene en todas las épocas. Se basa en que en todas ellas la temperatura, conductividad, cloruros y sulfatos aumentan hacia abajo, las dos últimas, probablemente, por precipitación atmosférica (Tabla III). La mayor concentración de

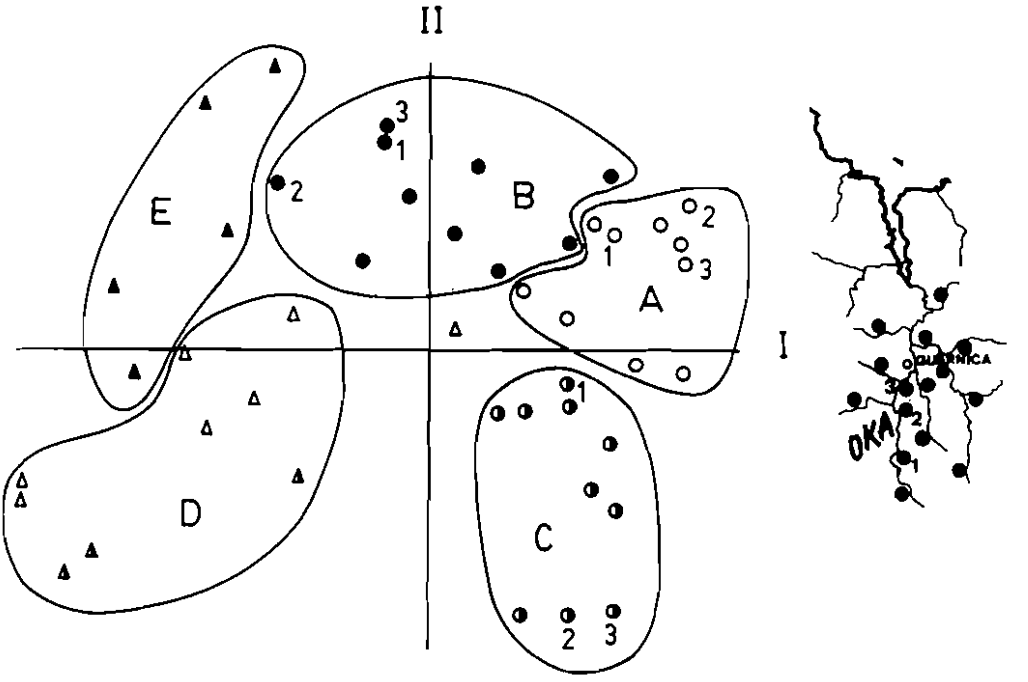


Fig. 3. Posición de las estaciones de la cuenca del río Oka en el plano de los ejes I y II del análisis de componentes principales. Ríos Oka y Golako en primavera (A), verano (B) y otoño (C). Arroyos en verano (E) y primavera-otoño (D). Los números corresponden a las estaciones del cauce principal.

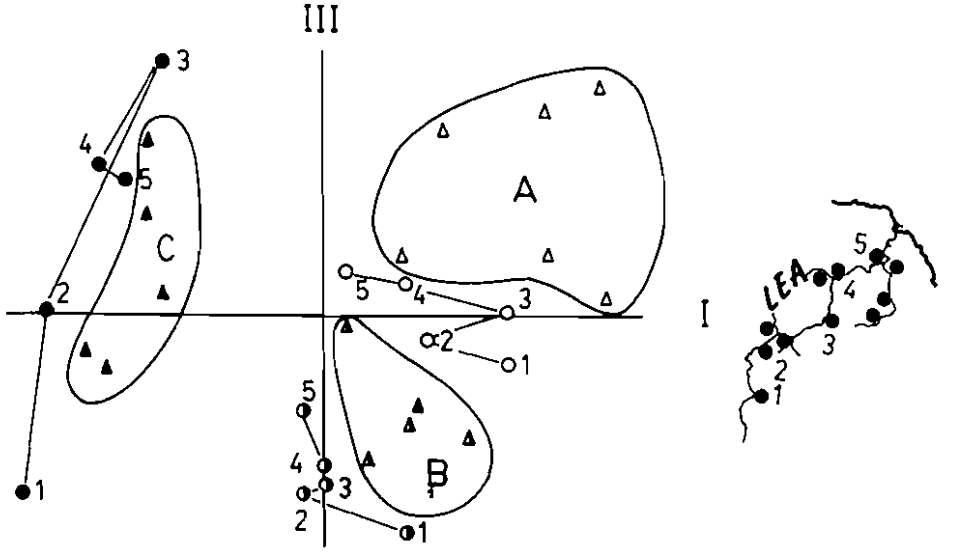


Fig. 4. Posición de las estaciones de la cuenca del río Lea en el plano de los ejes I y III. Las envolventes separan el río principal de los arroyos en primavera (A), otoño (B) y verano (C).

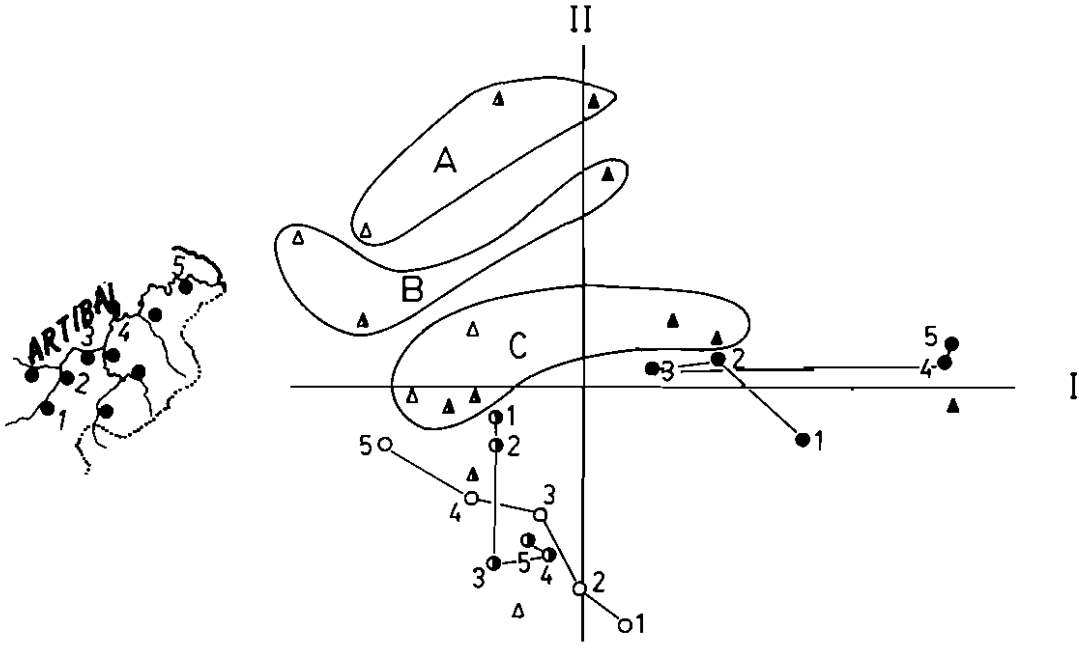


Fig. 5. Posición de las estaciones de la cuenca del río Artibai en el plano de los ejes I y II del análisis de componentes principales. Partes altas de los arroyos situados a la derecha del río principal (A) y (B). Cursos bajos de estos arroyos (C). Los demás símbolos como en la Fig. 1.

fosfatos y nitratos en primavera-otoño se puede explicar por el mayor consumo que de estos compuestos hacen los organismos en verano y también por el mayor lavado del suelo en las épocas de lluvia. La oposición entre fosfatos y nitratos se explica porque aquéllos suelen ser de origen urbano y más abundantes, por tanto, aguas abajo del río, mientras que los nitratos, procedentes en gran medida de fertilizantes, son más abundantes en las partes altas y medias, que son las que se destinan a estos usos. La disminución del $Ca^{++}$, dureza y silicatos con la distancia al origen podría deberse a precipitación por aumento del pH por efecto del aumento de la fotosíntesis, y en el caso de los silicatos, además, al consumo por organismos.

En esta cuenca hay una separación temporal clara y dentro de cada época hay una diferenciación geográfica, pudiéndose distinguir el cauce principal de los arroyos, estos últimos con tendencia a presentar una mineralización inferior y una concentración de oxígeno superior que el cauce principal.

Esta es la única cuenca en la que se mantiene en todas las épocas una proximidad mayor entre el cauce principal y los arroyos. Los cambios temporales son mayores que los geográficos.

El aumento de materia orgánica que se produce en primavera y otoño, especialmente en los arroyos, se podría explicar por el mayor lavado del suelo que tiene lugar en esta época y por ser mayor el aporte de hojarasca a estos cauces que al río principal, provisto, en general, de menos vegetación en sus riberas.

En el plano de los ejes 1 y 2 de la cuenca del Artibai (Fig. 5) se observa una separación por épocas y una diferenciación geográfica. Por un lado aparecen las muestras tomadas en verano y por otro lado las de primavera-otoño. El segundo eje tiene un sentido geográfico y separa los arroyos situados a la derecha del eje principal y los arroyos situados a su izquierda. Estas diferencias se basan en la mayor concentración de silicatos y consumo de oxí-

TABLA IV

**Relación entre conductividad y los iones mayoritarios en las diferentes cuencas. Se ha utilizado el método de regresiones paso a paso. Las unidades de las variables son: conductividad (uS/cm), alcalinidad (meq/l) y las demás (mg/l). Primavera (P). Verano (V). Otoño (O). Conductividad (C). Calcio (Ca). Magnesio (Mg). Sulfatos ($SO_4$). Cloruros (Cl). Alcalinidad (Al)**

| Cuenca | | *n* | Ecuación | *r* |
|---|---|---|---|---|
| | P | 15 | C=0,17+4,88 Ca+9,62 Mg=1,43 Cl | 0,966 |
| Cadagua | V | 15 | C=52,30+7,11 Ca+3,79 Cl−36,86 Al | 0,969 |
| | O | 15 | C=378,44+5,91 Cl | 0,291 |
| | P | 20 | C=23,07+5,28 Ca+10,11 Mg | 0,894 |
| Butrón | V | 20 | C=159,08+41,50 Al+3,93 Ca | 0,833 |
| | O | 20 | C=34,60+2,85 Ca+4,49 Cl+0,54 $SO_4$ | 0,899 |
| | P | 17 | C=55,14+4,55 Ca+3,89 Mg | 0,993 |
| Oka | V | 17 | C=14,60+109,98 Al+2,18 $SO_4$ | 0,973 |
| | O | 15 | C=35,22+72,46 Al+3,94 Cl | 0,940 |
| | P | 10 | C=35,10+114,56 Al | 0,869 |
| Lea | V | 10 | C=127,65+3,76 Ca | 0,744 |
| | O | 10 | C=86,58+51,22 Al | 0,673 |
| | P | 10 | C=39,91+5,22 Ca | 0,978 |
| Artibai | V | 10 | C=49,36+4,21 Ca+3,46 Cl | 0,940 |
| | O | 10 | C=83,73+64,94 Al | 0,940 |

geno por permanganato de los arroyos situados a la derecha del cauce principal, más ricos, además, en sulfatos y la mayor reserva alcalina y concentración de amonio del cauce principal, más rico también en nitratos. La mayor oxidabilidad al permanganato que presentan estos arroyos podría deberse a que el aporte de vegetación ribereña es mayor que en los tramos bajos del cauce principal.

Por otro lado, la oposición entre temperatura y nutrientes con respecto al tercer eje (Tabla III) denota la influencia del lavado del suelo en el aporte de estos compuestos.

La relación entre conductividad y los cationes y aniones mayoritarios se ha medido mediante el método de regresiones paso a paso, observándose (Tabla IV) que el catión calcio explica el mayor porcentaje de su variabilidad. La participación del bicarbonato-carbonato (alcalinidad) es también importante y la contribución de otros aniones como cloruros y sulfatos, aumenta en las épocas de menor caudal (verano-otoño).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del «Estudio hidrobiológico de los ríos de Bizkaia» realizado para la Diputación Foral de Bizkaia, a quien agradecemos su financiación.

## SUMMARY

17 physico-chemical variables have been used as entities to ordinate the basins of the Rivers Cadagua, Butrón, Oka, Lea y Artibai by means of principal component analyses performed for each basin with samples from three seasons. In the space of the three first axes (which explained about 50% of the total variance) differences are shown attributables to hydrological and biological causes the former and to the geological substrate and land uses the later.

Conductivity values are relatively high as well as calcium, bicarbonate, chloride and sulfate.

Conductivity and calcium are strongly related, being able to express the former as a function of the later in all basins.

The distribution of conservative variables such as nutrients differ from the other variables. Thus, silicate are more abundant at the upper reaches and nitrate and phosphate increase with increasing precipitation in the less polluted reaches. Chemical differences are less marked amongst the last stations of the main water courses. Longitudinal differences in the main rivers are more accused in dry periods.

Organic matter, measured as permanganate oxidability, increases with conductivity and phosphate levels in the main courses of the rivers Cadagua and Butrón, which may be considered as the most polluted. However, this variable do not follows the same trend in the Rivers Oka, Lea and Artibai, where differences between reaches are not so evident, increasing also at the higher reaches and during rainy periods.

## BIBLIOGRAFIA

APHA-AWWA-WPCF, 1975: *Standard methods for the examination of water and wastewater.* Amer. Pub. Health Ass. Washington.

AVILA, A.; 1984: «Composición química de los arroyos del Montseny (Barcelona)». *Limnetica,* 1: 128-135.

CAPBLANCQ, J., y TOURENQ, J. N., 1978: «Hydrochimie de la riviére Lot». *Annals. Limnol.,* 14: 25-37.

CARREL, G.; BARTHELEMY, D.; AUDA, Y, y CHESSEL, D., 1986: «Approche graphique de l'analyse en composantes principales normée: utilisation en hydrobiologie». *Acta OEcologica. OEcol. Gener.,* 7: 189-203.

CASEY, H., 1977: «Origin and variation of nitrate nitrogen in the chalk springs, streams and rivers in Dorset and its utilisation by higher plants». *Prog. Wat. Tech.,* 8: 225-325.

ESTRADA, M., 1975: «Statistical considerations of some limnological parameters in Spanish reservoir». *Verh. Internat. Verein. Limnol.,* 19: 1849-1859.

EUSKOIKER, 1988: *Estudio Hidrobiológico de los ríos de Bizkaia. Informe final. Tomo II.* Diputación de Bizkaia. Bilbao.

FERNÁNDEZ ALÁEZ, M.; IBÁÑEZ, Y., y FERNÁNDEZ ALÁEZ, C., 1987: «Estudio físico-químico de los ríos de la cuenca del Besnega (León)». *Actas del IV Congreso Español de Limnología.* Sevilla, pp. 179-190.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S., y OHNSTAND, M. A. M., 1978: *Methods for physical analysis and chemical analysis of fresh waters.* Blackwell. Oxford.

GOLTERMAN, H. L., 1985: «The geochemistry of the Rhine and the Rhone. 5, Synthesis and conclusions». *Annls. Limnol.,* 21: 191-201.

LEBART, L., y MORINEAU, I. A., 1982: *Systeme portable pour l'analyse des donnés.* SPAD. Cesia. París.

MARGALEF, R., 1983: *Limnología.* Omega. Barcelona.

MORRIS, K. H., 1987: «The fresh waters of Shetland: Chemical characteristics of running waters». *Hydrobiología,* 144: 211-221.

ORIVE, E., y ARTEAGA, I., 1985: «Physico-chemical chages associated with environmental gradientes in the River Oka basin». *Verh. Internat. Verein. Limnol.,* 22: 2073-2074.

ORIVE, E.; BASAGUREN, A.; BIKUÑA, B. G. DE, y CACHO, M., 1989: «A comparative study of water mineralization and nutrient status in the main water courses of Biscay (Basque Country, North Spain)». *Water Research.,* 23.

PRAT, N.; PUIG, M. A.; GONZÁLEZ, G.; TORT, M. F., y ESTRADA, M., 1984: «Lobregat». En: *Ecology of European Rivers.* Whitton, B.A., ed. Blackwell. Oxford.

SABATER, F., y ARMENGOL, J., 1985: «Caracterización química del río Ter». *Limnética,* 2: 75-84.

STRICKLAND, J. D. H., y PARSON, T. R., 1972: *A practical handbook of seawater analyses.* Bull. Fish. Res. Bd Can. Ottawa.