

ZUBÍA. Monográfico	10	213-227	Logroño	1998
--------------------	----	---------	---------	------

VARIACIONES ESPACIALES Y ESTACIONALES EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA EN LA CUENCA DEL IREGUA (LA RIOJA)

M.A. García Álvaro*
N. Beaucourt Le Barzic*

RESUMEN

Se han estudiado las variaciones espaciales y temporales en los parámetros físico-químicos del agua de la cuenca del Iregua. Se seleccionaron 20 puntos para realizar el análisis espacial. El análisis de componentes principales (ACP) mostraba un gradiente de enriquecimiento en nutrientes desde la cabecera del río hasta el curso bajo. Los datos reflejan el sustrato geológico en cada punto. El análisis temporal se llevó a cabo en cuatro puntos de la cuenca (Piqueras, San Pedro, Senestillos y Toseca) y fue estudiado utilizando un ACP con los datos medios estacionales. Caudal, velocidad superficial, temperatura, sólidos en suspensión y materia orgánica eran las variables que más fluctuaban.

Palabras clave: agua, variaciones espaciales y estacionales, parámetros físico-químicos, río Iregua.

Spatial and seasonal changes in physical and chemical parameters of the water in the Iregua basin were studied. Spatial analysis was carried out using 20 sites. Principal components analysis (PCA) showed a nutrient enrichment gradient from upstream to downstream. Chemical parameters reflected the geological substrate in each site. Temporal analysis was carried out in four places (Piqueras, San Pedro, Senestillos and Toseca) and was studied using PCA with the seasonal average parameters. Flow, water velocity, temperature, suspended solids and organic matter were the greatest variable parameters.

* Área de Biología Vegetal. Universidad de La Rioja. Avda. de La Paz, 105. 26004 Logroño.

Key words: water, spatial and seasonal changes, physical and chemical parameters, Iregua river.

0. INTRODUCCIÓN

El agua de un río es una mezcla compleja de sustancias y partículas disueltas que se encuentran sujetas a importantes fluctuaciones que ocurren a escalas espaciales y temporales muy diferentes (Membiela *et al.*, 1991; Martínez-Ansemil y Membiela, 1992; Elosegui y Pozo, 1994). La dinámica de las sustancias y partículas depende del transporte dentro de la masa de agua y de los procesos de transferencia que tienen lugar desde el lecho y las orillas del propio río (Allan, 1995), desde la atmósfera (Ebbert y Wagner, 1987; Wright, 1990) o desde la incorporación de materia orgánica alóctona (Bilby y Likens, 1980; Escudero *et al.*, 1991).

Los ríos juegan un papel importante en el ciclo global biogeoquímico por el transporte de elementos desde el curso alto o “hábitat erosionable” hasta el curso más bajo o “hábitat de sedimentación” (Ward, 1992). La composición y distribución de sustancias dentro del canal fluvial están ampliamente estructuradas por procesos físicos relacionados con un flujo unidireccional que interactúan con la geología de la cuenca (Ward, 1992) y la incorporación de materia del medio terrestre en las distintas épocas del año.

La cuenca del río Iregua ocupa la parte central de la comunidad autónoma de La Rioja, resultando una vía de comunicación importante entre la meseta y el valle del Ebro. En su curso alto-medio el río Iregua atraviesa la región natural del Camero Nuevo y en su curso bajo se abre hacia una amplia vega a partir de Islallana, donde destacan los cultivos de frutales, hasta desembocar en Logroño. La importancia de este río es vital, de él depende el agua de boca de más de la mitad de la población riojana y también es soporte de una importante fracción de la economía de la provincia. Además, su curso alto se encuentra dentro del Parque Natural de la Sierra de Cebollera con lo que se incrementa el valor de este río como patrimonio natural.

En este artículo se analizan los cambios que se producen en los parámetros físico-químicos a lo largo de la cuenca del río Iregua y además los cambios que se producen quincenalmente en estos mismos parámetros durante un año en cuatro puntos diferentes de la misma cuenca. El conocimiento de estas variaciones pueden ayudar a la utilización de un recurso, tan preciado y escaso, como es el agua de un modo más racional y dentro del marco del desarrollo sostenible.

1. MATERIAL Y MÉTODOS

1.1. Localización de los puntos de muestreo

La Fig. 1 muestra la localización de las estaciones de muestreo donde se han recogido las muestras de agua. Las Tablas 1 y 2 precisan la localización de los puntos de muestreo en el nivel espacial y temporal, respectivamente, así como las características ecológicas más representativas. La altitud varía entre los 390 m de Varea y los 1.500 m de Lomos de Orio. El sustrato es muy diverso, desde areniscas y cuarzarenitas en la cuenca alta (facies Purbeck-Weald), pasando por calizas del Jurásico y conglomerados calcáreos del Terciario en la cuenca media, hasta sedimentos fluviales y aluviales del Cuaternario en la cuenca baja (IGME, 1980), lo que ocasiona una notable variedad en la composición química del agua.

1.2. Análisis fisicoquímico del agua

Para el análisis fisicoquímico temporal el agua se recogió quincenalmente durante un año, comenzando el ciclo el 27 de marzo de 1995 y acabando el 4 de marzo de 1996 en los arroyos de Piqueras, San Pedro, Senestillos y Toseca. Para el análisis espacial se realizó un único muestreo en junio de 1997 en las localidades citadas en la Tabla 1.

El agua fue recogida y analizada siguiendo los procedimientos marcados por Allen, et al. (1986) y APHA-AWWA-WPCF (1992). Se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos:

– *in situ*: pH y temperatura (Orion-250A), conductividad (Crison CDTM-523), velocidad y caudal (mediante un flotador y un cronómetro) y oxígeno disuelto (electrodo de oxígeno Syland).

– En laboratorio: Ca²⁺ y Mg²⁺ por espectrofotometría de absorción atómica (Varian SpectrAA-10); Na⁺ y K⁺ por emisión (Varian SpectrAA-10); SO₄²⁻ y PO₄³⁻ mediante espectrofotometría de absorción molecular (Perkin-Elmer λ3 UV/VIS); Cl⁻, NO₃⁻, NO₂⁻ y NH₄⁺ por electrodos selectivos (ATI-Orion); CO₃²⁻ y HCO₃⁻ por titulación con H₂SO₄ 0,02N; materia orgánica por peroxidación con KMnO₄ 0,01N y titulación con Na₂S₂O₃·5H₂O 0,01N, y sólidos en suspensión por filtración con filtros de 45 μm y gravimetría.

2. RESULTADOS

2.1. Variaciones espaciales

Las características fisicoquímicas del agua de las localidades de muestreo se encuentran resumidas en la Tabla 3. Desde la cabecera de la cuenca hacia el curso bajo,

se constata un aumento del pH (6,1-7,1 en el curso alto, 7,8-9,1 en el bajo), conductividad (40-64 y 275-588 $\mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente), temperatura (5,7-8,9 $^{\circ}\text{C}$ en el curso alto, hasta 16,9 $^{\circ}\text{C}$ en el curso bajo) y materia orgánica (7,4-14,8 y 16,1-62,5 mg l^{-1} , respectivamente). Las localidades situadas sobre sustratos mayoritariamente ácidos (areniscas y cuarzarenitas) muestran un escaso grado de mineralización. En la parte media, los arroyos que discurren sobre calizas presentan concentraciones elevadas de HCO_3^- (en torno al 80% de la composición aniónica total) y de Ca^{2+} (aproximadamente el 80% de la composición catiónica total). Además, los arroyos que atraviesan sustratos ricos en yesos incorporan SO_4^{2-} , que contribuyen de forma importante a su composición química (hasta casi un 40% de la composición aniónica). Por último, en algunos puntos del curso más bajo (Islallana y La Estrella) y en las localidades que corresponden a acequias (localidades 1, 3 y 4) se aprecia una mayor eutrofización, reflejada por un aumento en el contenido de NO_3^- .

Con los datos obtenidos del análisis fisicoquímico de las aguas, junto con la altitud, se ha llevado a cabo un ACP, cuyos tres primeros ejes absorben el 75% de la varianza. La proyección de las localidades sobre los dos primeros ejes se muestra en la Fig. 2; además en la Fig. 3 se muestra la importancia de los parámetros determinados en la ordenación de las localidades y las correlaciones entre ellos. El primer eje refleja en su parte positiva el contenido en especies químicas, ligadas todas ellas a la conductividad del agua ($r=0,62-0,91$ $p<0,01$ o $p<0,001$); se localizan hacia la parte positiva las estaciones con mayor mineralización y también de aguas más cálidas; en su lado negativo las variables determinantes son el porcentaje de saturación de oxígeno y la altitud; las estaciones situadas a mayor altitud y con mayor oxigenación se localizan hacia la parte negativa del eje I. El eje II distribuye hacia la parte positiva las estaciones con mayor contenido en cationes y aniones monovalentes, Cl^- , Na^+ y K^+ (la correlación entre estas tres variables fue muy elevada, $r=0,91-0,93$ $p<0,001$) y hacia la parte negativa aquellas estaciones con mayor concentración de HCO_3^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} (entre estos parámetros se obtuvieron coeficientes de correlación muy significativos, $r=0,70-0,89$ $p<0,001$). Teniendo en cuenta estas directrices se pueden distinguir cuatro grupos de localidades:

- A: incluye las estaciones 1-4, que corresponden a las tres acequias y al último punto del río Iregua (La Estrella), con aguas muy mineralizadas, salinizadas y eutrofizadas.
- B: incluye las estaciones 11, 12 y 15, que son arroyos laterales situados sobre calizas y caracterizados por presentar aguas duras muy ricas en Ca^{2+} y Mg^{2+} , que representan en conjunto el 90% de la composición catiónica.
- C: incluye las localidades 10, 13, 14 y 16, todas ellas del curso alto sobre sustratos relativamente silíceos con mezcla de elementos calcáreos y con aguas relativamente blandas.
- D: incluye las localidades 17-20, todas ellas en el curso alto sobre sustrato silíceo, con aguas muy blandas.

El resto de localidades (5-9) pertenecen al curso medio y se sitúan sobre conglomerados calcáreos, con aguas relativamente mineralizadas pero no tan duras como en el grupo B. Por lo tanto, presentan características intermedias entre los grupos B y C.

2.1. Variaciones temporales

Las características fisicoquímicas del agua de los arroyos muestreados quincenalmente durante un año se encuentran resumidas en la Tabla 4. El río Piqueras y el arroyo Senestillos mostraron características muy similares en todos sus parámetros, pH ligeramente ácido (6,0 - 7,0), escasa mineralización (20,7 - 83,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$) y temperaturas relativamente bajas (0,0 - 15,0°C). Se apreciaron diferencias destacables en los contenidos de Cl^- , Na^+ , HCO_3^- y Ca^{2+} . Los contenidos de Cl^- y de Na^+ fueron más elevados en Piqueras (14,6 mg l^{-1} y 8,4 mg l^{-1} de media anual para Cl^- y Na^+ , respectivamente) y responsables de una conductividad ligeramente más elevada en este arroyo (57,7 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Por otro lado, los contenidos de HCO_3^- y de Ca^{2+} que fueron mayores en Senestillos (18,9 mg l^{-1} y 5,8 mg l^{-1} de media anual para HCO_3^- y Ca^{2+} , respectivamente). El elevado contenido de Cl^- y de Na^+ en Piqueras procede del lavado de la sal depositada en la carretera N-111 durante el invierno.

Asimismo el arroyo San Pedro refleja en su composición química el sustrato sobre el que fluye con niveles altos de HCO_3^- y de Ca^{2+} , que representan ambos el 91% de la composición tanto aniónica como catiónica, respectivamente. Estos elementos contribuyen a la alcalinidad de estas aguas, obteniendo un pH entre 7,5 y 8,2, y a conseguir una conductividad entre 342 y 400 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Por su parte, el arroyo Toseca se mostró muy diferente en todos los parámetros, destacando su excesiva mineralización (hasta 2.538 $\mu\text{S cm}^{-1}$) y su elevada concentración en SO_4^{2-} y Ca^{2+} procedentes de sustratos ricos en yeso (ambos suponen el 90% de la composición tanto aniónica como catiónica, respectivamente). En comparación con los tres ríos anteriores, el caudal y la velocidad superficial fueron relativamente constantes durante todo el año (0,011 - 0,079 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ y 0,13 - 0,66 m s^{-1}), apreciándose ligeros aumentos tras fuertes precipitaciones.

Con los datos medios estacionales obtenidos del análisis fisicoquímico de las aguas de los arroyos se llevó a cabo un ACP, cuyos tres primeros ejes absorbían el 88% de la varianza, previamente se hizo una transformación logarítmica de la conductividad y de la concentración de SO_4^{2-} , Ca^{2+} y HCO_3^- . En la Fig. 4 se muestra la proyección de los arroyos sobre los dos primeros ejes, considerando para cada arroyo cuatro teniendo en cuenta cada una de las estaciones. En la Fig. 5 se representa la importancia de cada parámetro analizado para la ordenación estacional de los puntos de muestreo y el grado de correlación existente entre todas las variables. El primer eje refleja en su parte positiva el caudal, la velocidad superficial y la materia orgánica (estas variables

se encontraban muy correlacionadas, $r=0,65-0,82$ $p<0,01$ o $p<0,001$), y en su parte negativa el contenido en aniones y cationes muy ligados a la conductividad y al pH ($r=0,55-0,93$ $p<0,05$ o $p<0,01$ o $p<0,001$). Por su parte el eje II marca la estacionalidad, mostrando hacia la parte positiva el contenido de Cl^- y cationes monovalentes con una relación muy fuerte entre ellos ($r=0,84-0,92$ $p<0,001$), sólidos en suspensión, caudal y velocidad superficial (los coeficientes de correlación entre estas tres variables oscilaron entre 0,66 y 0,74 con $p<0,01$ o $p<0,001$) y hacia el lado negativo, la temperatura y el contenido de HCO_3^- ($r=0,73$ $p<0,001$).

Así, hacia el lado izquierdo del diagrama encontramos el arroyo Toseca con el pH, la conductividad ($2,262 \mu\text{S cm}^{-1}$ de media anual) y las concentraciones de SO_4^{2-} y Ca^{2+} ($1,436 \text{ mg l}^{-1}$ y 532 mg l^{-1} , respectivamente) muy elevadas; hacia el centro el arroyo Piqueras, aunque con conductividad baja, presenta un importante contenido en Cl^- y Na^+ , ambos elementos representan un 71% y 65% de composición aniónica y catiónica, respectivamente; y hacia la derecha los arroyos de San Pedro y de Senestillos, aunque hay diferencias en sus conductividades (San Pedro, $377 \mu\text{S cm}^{-1}$ y Senestillos, $44 \mu\text{S cm}^{-1}$ de media anual), sin embargo presentan elevados porcentajes de HCO_3^- y de Ca^{2+} . En San Pedro el 91 % de la composición tanto aniónica como catiónica corresponden a HCO_3^- y a Ca^{2+} , respectivamente, y en Senestillos el 70% de la composición aniónica corresponde a HCO_3^- y el 65% de composición catiónica a Ca^{2+} .

La temperatura y el caudal muestran una distribución estacional en los arroyos, ambos parámetros se encontraron correlacionados negativamente en todos los arroyos ($r=-0,74$ $p<0,01$), teniendo esto en cuenta apreciamos hacia la parte inferior del gráfico todos los arroyos en la época estival, cuando la temperatura del agua es mayor (Piqueras $12,7^\circ\text{C}$ de media en verano, San Pedro $13,5^\circ\text{C}$, Senestillos $13,2^\circ\text{C}$ y Toseca $17,0^\circ\text{C}$) y el caudal y la velocidad, sin embargo, son menores, lo que parece contribuir a que haya una concentración mayor de algunas sales, especialmente de HCO_3^- . Por el contrario, hacia la parte superior se discriminan los arroyos durante el invierno cuando el caudal (Piqueras $0,505 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de media en invierno, San Pedro $0,269 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, Senestillos $0,790 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y Toseca $0,045 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y la velocidad superficial son mayores (Piqueras $0,64 \text{ m s}^{-1}$, San Pedro $0,57 \text{ m s}^{-1}$, Senestillos $0,80 \text{ m s}^{-1}$ y Toseca $0,40 \text{ m s}^{-1}$), lo que conlleva también un arrastre de materiales que se traduce en un aumento de sólidos en suspensión (Piqueras $6,3 \text{ mg l}^{-1}$, San Pedro $5,38 \text{ mg l}^{-1}$, Senestillos $8,4 \text{ mg l}^{-1}$ y Toseca $5,4 \text{ mg l}^{-1}$).

La Fig. 6 muestra la variación quincenal del pH, conductividad, temperatura y caudal. Estas dos últimas variables fueron las que más fluctuaron durante el año; además se aprecia un ligero aumento de la conductividad en todos los arroyos durante la época de estiaje, especialmente en Senestillos. El incremento de sales disueltas en el agua se debe a una concentración mayor de las mismas al disminuir el volumen de agua durante el verano.

3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos apuntan hacia la consideración de los materiales geológicos y la progresiva antropización de la cuenca, desde la cabecera hacia la desembocadura, como los factores fundamentales de las características físicoquímicas del agua en los puntos estudiados, que constituyen una muestra representativa del conjunto de la cuenca del Iregua. Así, en los arroyos localizados sobre sustrato silíceo (grupo D del ACP) y los laterales sobre calizas (grupo B), con escasa influencia antrópica, reflejan en su composición química las características del sustrato sobre el que fluyen. En el resto de localidades, además de la composición química del sustrato, a medida que nos acercamos hacia la desembocadura la influencia humana se hace más patente con niveles crecientes de eutrofización, reflejado por un aumento de la concentración de materia orgánica, PO_4^{3-} y NO_3^- .

En los análisis llevados a cabo quincenalmente, destacan la temperatura, la velocidad superficial y el caudal como las variables más fluctuantes a lo largo del año. El incremento de caudal va acompañado de un aumento de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica. Las oscilaciones de estos parámetros resultan de la influencia directa del factor climático, precipitaciones (García Ruiz y Martín Ranz, 1992) y temperaturas. A su vez el aumento de temperatura durante el verano va acompañado de un ligero aumento de la conductividad, especialmente de los bicarbonatos, por una disminución del volumen de agua en esta época en los arroyos San Pedro y Senestillos. En el arroyo Piqueras, por su parte, el aumento de conductividad está relacionado con incrementos en las concentraciones de Cl^- y Na^+ durante la época invernal y de deshielo, que probablemente proceden de la utilización de sal en la carretera N-111 durante esta época.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Allan, J.D., 1995. *Stream ecology: structure and function of running waters*. Chapman & Hall.
- Allen, S.E., Grinshaw, H.M., Rowland, A.P., 1986. Chemical analysis. In: *Methods in plant ecology* (Moore, P.D. & Chapman, S.B. Eds.) pp: 285-344. Blackwell Scientific Publications.
- APHA-AWWA-WPCF, 1992. *Métodos normalizados de análisis para el análisis de aguas potables y residuales*. Díaz de Santos.
- Bilby, R.E., Likens, G.E., 1980. Importance of organic debris dams in the structure and function of stream ecosystems. *Ecology* (61), 1107-1113.
- Ebbert, J.C., Wagner, R.J., 1987. Contributions of rainfall to constituent loads in storm runoff from urban catchments. *Water Resources Bulletin* (23-5), 867-871.

- Elosegui, A, Pozo, J., 1994. Variaciones nictemerales de las características físico-químicas de un río cantábrico. *Limnética* (10-2), 15-25.
- Escudero, A, Sanz, S., Del Arco, J.M., Garrido, M.V., 1991. Leaf litter decomposition in a mountain stream. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* (24), 1987-1993.
- García Ruiz, J.M., Martín Ranz, M.C., 1992. El régimen de los ríos de La Rioja. IER, Col. Ciencias de la Tierra (14), 1-69.
- IGME, 1980. Mapa geológico 1:200.000. Hoja 21 Logroño. Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
- Martínez-Ansemil, E., Membiela, P., 1992. The low mineralized and fast turnover watercourses of Galicia. *Limnética* (8), 125-130.
- Membiela, P., Montes, C., Martínez-Ansemil, E., 1991. Características hidroquímicas de los ríos de Galicia (NW Península Ibérica). *Limnética* (7), 163-174.
- Ward, J.V., 1992. A mountain river. In: *The rivers handbook*. (Calow, P. & Petts, G.E., Eds.) pp: 493-510. Blackwell Scientific Publications.
- Wright, K.A., 1990. Logging effects on streamflow: Storm runoff at Caspar Creek in Northwestern California. *Water Resources Research* (26-7), 1657-1667.

TABLA 1. ESTACIONES DE MUESTREO UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS ESPACIAL (LOS NÚMEROS SE CORRESPONDEN CON LA FIG. 1).

Número	Localidad	Coordenadas UTM	Altitud (m.s.n.m.)	Sustrato	Vegetación
1	Varea	30T WN4901	390	Cemento (acequia)	Cultivos de huerta
2	La Estrella	30T WN4800	400	Cantos rodados	Chopera
3	El Cortijo	30T WN4302	425	Cemento (acequia)	Matorral degradado
4	La Grajera	30T WM4198	450	Cemento (acequia)	Matorral
5	Islallana	30T WM4085	600	Cantos rodados	Cultivos de huerta
6	Panzares	30T WM3582	675	Conglomerados calizos	Chopera
7	Solbes	30T WM3581	700	Conglomerados calizos	Encinar
8	Nestares	30T WM3279	725	Cantos rodados	Chopera
9	Castejón	30T WM2974	900	Calizas y margas	Sauceda
10	Junta los ríos	30T WM2864	950	Cantos rodados	Sauceda
11	San Pedro	30T WM2878	980	Calizas	Matorral de boj
12	Pinillos	30T WM3273	1.000	Calizas	Quejigal
13	Villoslada	30T WM2662	1.050	Cantos rodados	Rebollar
14	Aldea	30T WM3166	1.050	Areniscas y calizas	Hayedo-quejigal
15	Gallinero	30T WM3169	1.100	Calizas	Encinar
16	Robledillo	30T WM2568	1.200	Areniscas y calizas	Hayedo
17	La Blanca	30T WM2556	1.300	Areniscas	Pinar-hayedo
18	La Vieja	30T WM3453	1.350	Areniscas y limolitas	Hayedo
19	Venta de Piqueras	30T WM3758	1.350	Areniscas y cuarzarenitas	Rebollar
20	Lomos de Orio	30T WM2654	1.500	Areniscas y cuarzarenitas	Pinar

TABLA 2. ESTACIONES DE MUESTREO DEL ESTUDIO TEMPORAL.

Localidad	Coordenadas UTM	Altitud (m.s.n.m.)	Sustrato	Vegetación
Piqueras	30T WM3758	1.350	Areniscas y cuarzarenitas	Rebollar
San Pedro	30T WM2878	980	Calizas	Matorral de boj
Senestillos	30T WM3353	1.350	Areniscas y limolitas	Hayedo
Toseca	30T WM3985	580	Conglomerados calcáreos	Matorral con <i>Genista scorpius</i>

TABLA 3. VALORES MÍNIMOS, MEDIOS (\pm DESVIACIÓN ESTÁNDAR) Y MÁXIMOS DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS ANALIZADAS EN EL AGUA DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO PARA EL ESTUDIO ESPACIAL. DE, DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

VARIABLES	Mínimo	Medio \pm DE	Máximo
pH	6,1	7,8 \pm 0,15	9,1
Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	40	258 \pm 38	588
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	5,7	9,1 \pm 0,7	16,9
Velocidad (m s^{-1})	0,10	0,77 \pm 0,13	3,00
Caudal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	0,003	0,480 \pm 0,110	1,350
% Saturación de O_2	88,1	100,5 \pm 1,6	106,0
Materia orgánica (mg l^{-1})	1,6	16,2 \pm 3,0	62,5
Sólidos en suspensión (mg l^{-1})	4,7	15,0 \pm 3,0	61,7
CO_3^{2-} (mg l^{-1})	<0,01	1,88 \pm 0,96	16,00
HCO_3^- (mg l^{-1})	5,8	95,8 \pm 14,9	252,4
SO_4^{2-} (mg l^{-1})	2,5	37,3 \pm 10,0	168,5
Cl^- (mg l^{-1})	1,2	8,9 \pm 2,5	48,3
NO_3^- (mg l^{-1})	0,12	0,77 \pm 0,15	2,28
NO_2^- (mg l^{-1})	<0,01	0,07 \pm 0,01	0,13
PO_4^- (mg l^{-1})	<0,03	0,07 \pm 0,01	0,18
Ca^{2+} (mg l^{-1})	2,6	38,6 \pm 5,5	75,0
Mg^+ (mg l^{-1})	0,67	4,48 \pm 0,82	15,0
Na^+ (mg l^{-1})	1,19	5,52 \pm 1,49	29,1
K^+ (mg l^{-1})	0,38	2,04 \pm 0,86	18,0

TABLA 4. VALORES MÍNIMOS (MIN) Y MÁXIMOS (MAX) OBTENIDOS DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS ANALIZADAS EN EL AGUA DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO DURANTE UN CICLO ANUAL.

Parámetros	Piqueras		San Pedro		Senestillos		Toseca	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
pH	6,1	6,8	7,5	8,2	6,4	7,0	7,7	8,3
Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	42,4	83,9	342	400	20,7	74	1.718	2.538
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	0,0	15,0	8,4	20,4	0,5	14,7	7,7	21,0
Velocidad (m s^{-1})	0,09	0,99	0,06	0,84	0,12	1,70	0,13	0,66
Caudal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	0,013	1,330	0,001	0,493	0,011	2,180	0,011	0,079
Materia orgánica (mg l^{-1})	0,8	6,1	0,64	4,34	0,8	7,6	0,8	8,9
Sólidos en suspensión (mg l^{-1})	0,6	12,3	0,30	6,90	1,0	15,6	1,8	16
CO_3^{2-} (mg l^{-1})	-	-	1,30	9,70	-	-	1,1	9,0
HCO_3^- (mg l^{-1})	2,6	12,2	191	214	8,8	33,6	108	146
SO_4^{2-} (mg l^{-1})	1,0	4,2	6,0	20,0	1,2	7,6	986	1.693
Cl^- (mg l^{-1})	8,0	23,2	1,0	2,9	0,2	2,6	11,1	20,1
NO_3^- (mg l^{-1})	<0,01	0,61	0,82	6,08	<0,01	0,86	1,15	5,89
NO_2^- (mg l^{-1})	<0,01	0,07	<0,01	0,04	<0,01	0,07	<0,01	0,09
NH_4^+ (mg l^{-1})	<0,01	0,05	<0,01	0,52	<0,01	0,05	<0,01	0,48
PO_4^{3-} (mg l^{-1})	<0,03	0,03	<0,03	0,03	<0,03	0,03	<0,03	0,03
Ca^{2+} (mg l^{-1})	1,3	4,1	64	73	2,4	10,2	383	594
Mg^{2+} (mg l^{-1})	0,2	1,2	2,0	5,2	0,5	1,9	43	85
Na^+ (mg l^{-1})	4,9	15,9	0,5	1,7	0,9	2,2	7,6	15,0
K^+ (mg l^{-1})	0,2	0,7	0,2	0,6	0,2	0,6	0,8	2,4

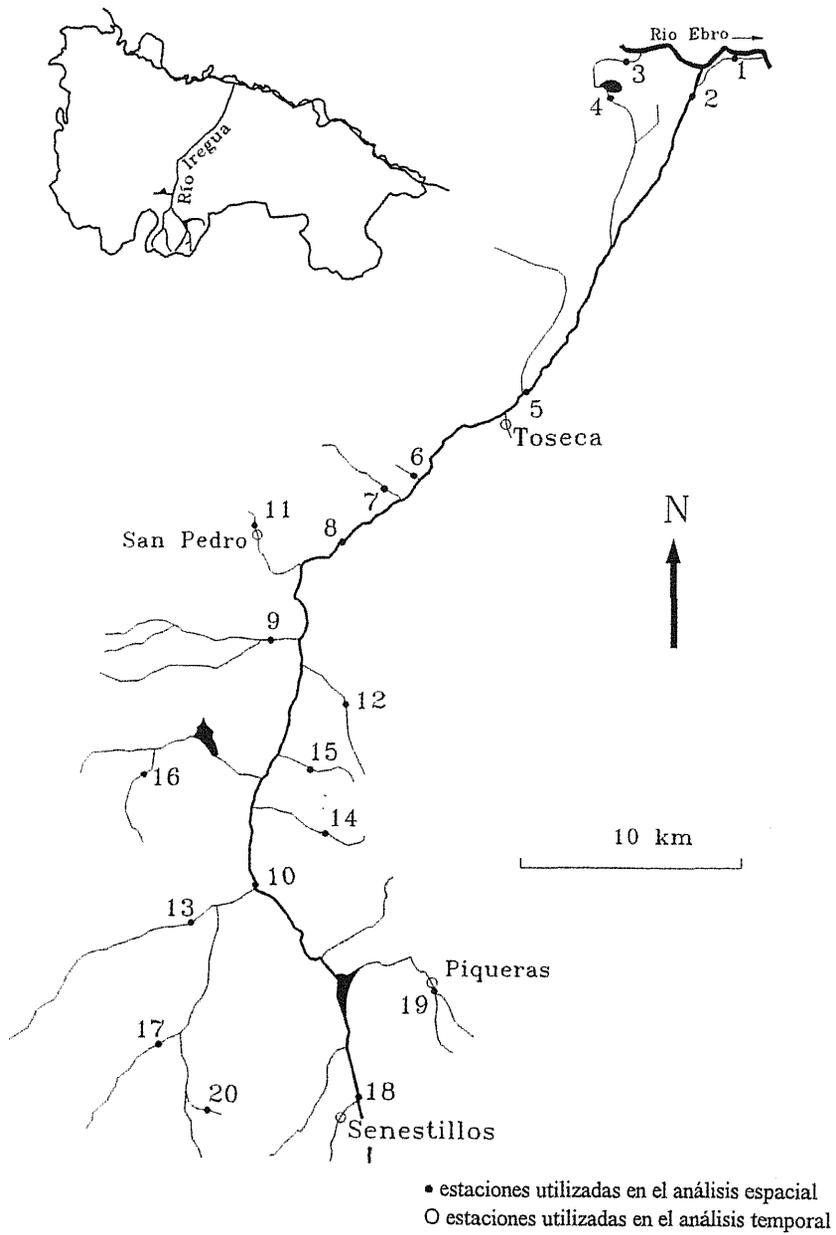


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo.

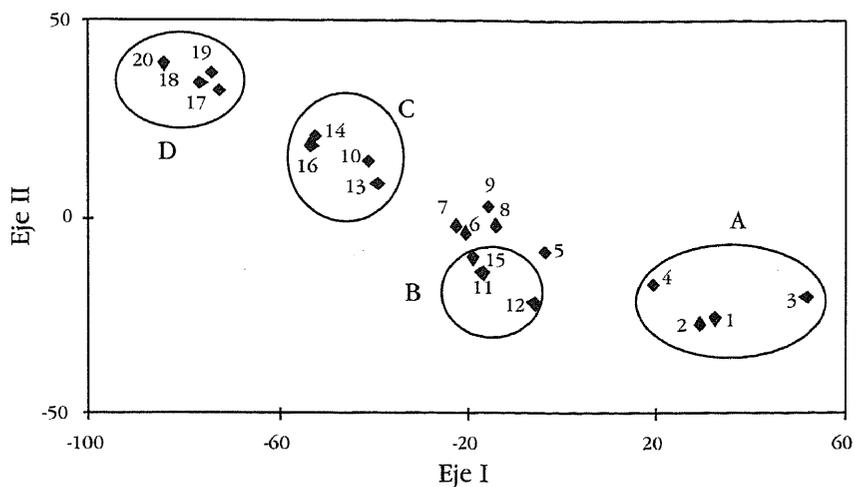


Figura 2. Ordenación de las estaciones de muestreo en la cuenca del Iregua por Análisis de Componentes Principales (ACP) en función de las variables fisicoquímicas del agua.

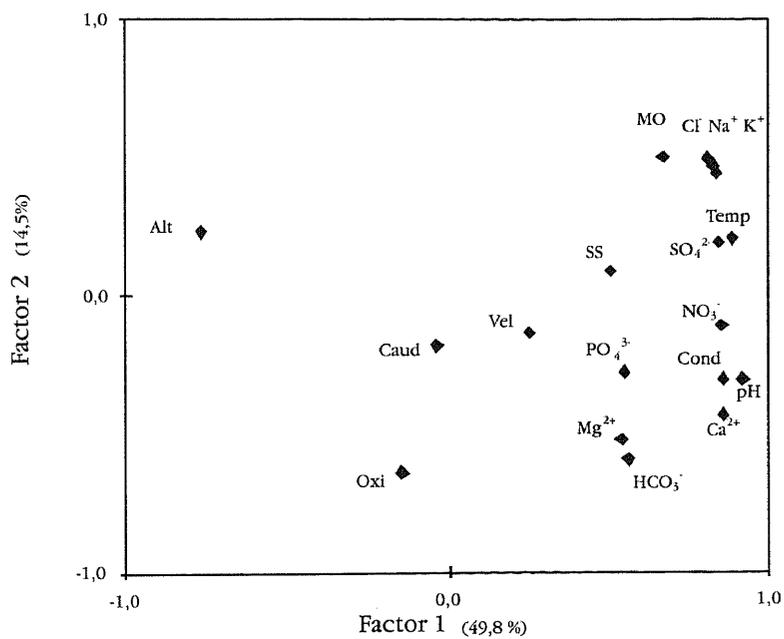


Figura 3. Representación de las variables fisicoquímicas utilizadas en el Análisis de Componentes Principales espacial sobre los dos primeros factores de carga.

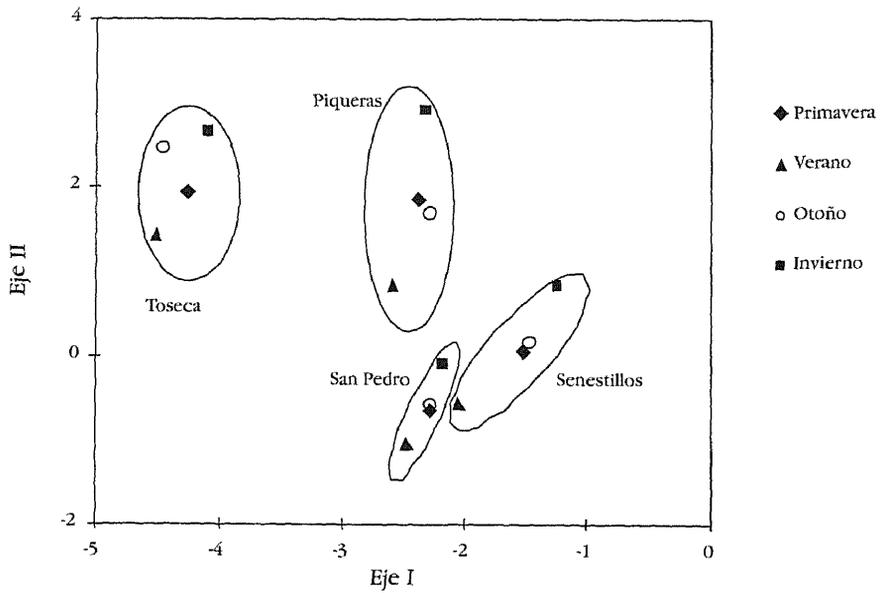


Figura 4. Ordenación de los arroyos por Análisis de Componentes Principales (ACP) en función de la variación estacional de las variables fisicoquímicas.

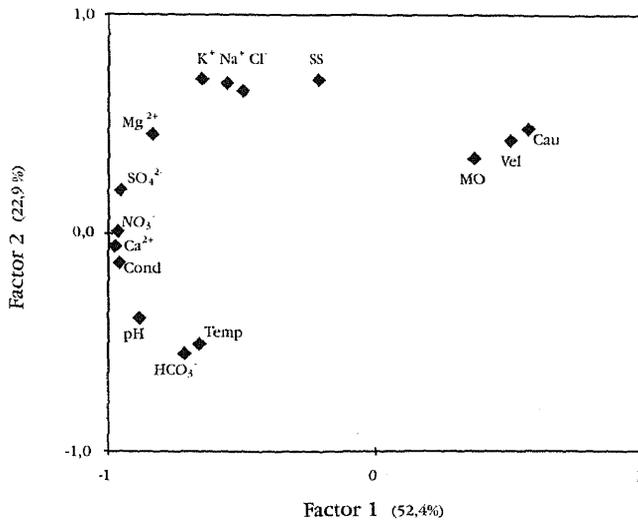


Figura 5. Representación de las variables fisicoquímicas utilizadas en el Análisis de Componentes Principales estacional sobre los dos primeros factores de agua.

VARIACIONES ESPACIALES Y ESTACIONALES EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS...

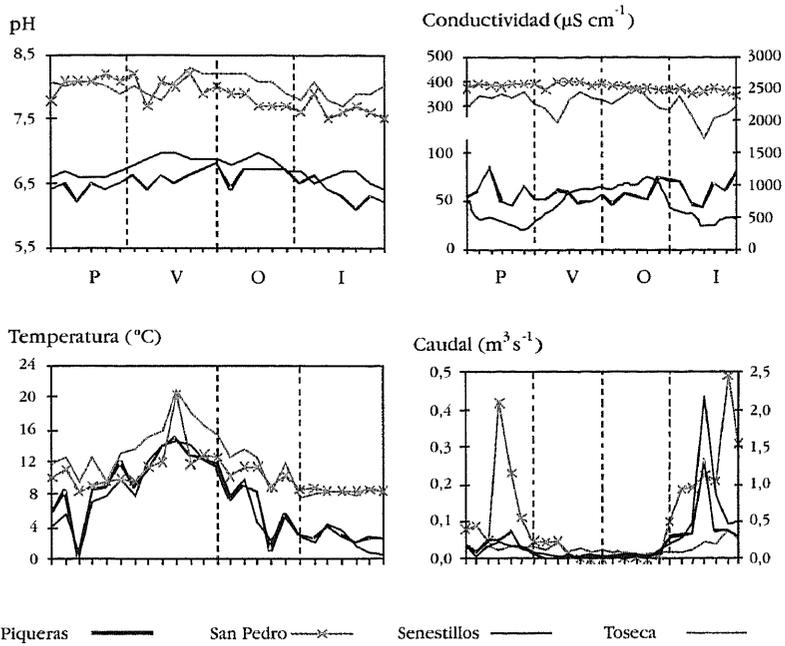


Figura 6. Variación quincenal del pH, conductividad, temperatura y caudal durante un ciclo anual.

* Nota: Para la conductividad el eje derecho representa la variación de la misma en el arroyo Toseca. Para el caudal el eje izquierdo representa la variación de caudal en los arroyos San Pedro y Toseca y el derecho, en Piqueras y Senestillos.