

ANALISIS DE CORRELACIONES CANONICAS APLICADO AL ESTUDIO DE LA RELACION ENTRE LA COMPOSICION FISICO-QUIMICA DEL AGUA Y SUELO ALUVIAL EN EL RIO BERNESGA (LEON)

M.C. Fernández Aláez, E. Luis Calabuig, M. Fernández Aláez.

Dpto. de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de León.

Palabras clave: Canonical correlation analysis, principal components analysis, alluvial soil, water river, physicochemical composition.

ABSTRACT

CANONICAL CORRELATION ANALYSIS APPLIED TO THE STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PHYSICOCHEMICAL COMPOSITION OF WATER AND ALLUVIAL SOIL

The canonical correlation analysis is applied to determine the interdependence relationship between the physico-chemical characteristics of the alluvial soil and the water in the Bernesga river (León). These correlations have been calculated among the first three axes of principal components analysis tested on 8 soil variables measured from twenty sampling locations, and the average values of 15 specific physicochemical parameters in water for 8 months in the same sites. The results obtained from the correlations explain, on the one hand the enrichment of the soil mineral fraction and the impoverishment in organic matter due to the eutrophication and mineralization of water; and, on the other, the relationship between a increase of water hardness and alkalinity and a decrease of soil acidity. The elimination of the last three sampling sites, which show a high level of contamination in the river do not introduce remarkable differences, except for the less important difference represented by the eutrophication process in favour of a more clear influence of the alkaline mineralization of the water on the mineral fraction of the soil.

INTRODUCCION

Cuando se pretende explorar la estructura de datos multidimensionales y las relaciones complejas que se establecen entre dos grupos de variables, el modelo multivariante de correlaciones canónicas constituye una excelente técnica que revela al menos la correlación máxima que se puede obtener entre las funciones lineales de dichos grupos de descriptores (Kendall y Stuart, 1966).

El desarrollo de métodos de análisis, y en general de las técnicas multivariantes ha puesto al alcance del ecólogo la posibilidad de estudiar distribuciones numéricas obtenidas en observaciones de campo, mediante la representación en un hiperespacio de un número pequeño de ejes. Estos ejes son capaces de recoger las principales tendencias de variación en dos elementos del ecosistema, como son en el caso del ecosistema lótico el agua y el suelo aluvial.

Limnética 2: 85-93 (1986)

© Asociación Española de Limnología. Madrid, Spain

Dado el carácter fluctuante de las aguas corrientes, los fenómenos que afectan a las relaciones entre el agua y el sedimento presentan una regularidad menor que en los lagos; sin embargo, al igual que en estos sistemas, los sedimentos en los ríos son indicadores de las características del agua, lo mismo que éstas lo son del estado de los vecinos ecosistemas terrestres (Margalef, 1983).

Mediante este trabajo se pretende realizar una aportación a un tema que apenas ha sido abordado en estudios limnológicos, como es el de las relaciones de interdependencia que se establecen entre el medio acuático y el suelo aluvial, como un aspecto fundamental en el funcionamiento del ecosistema lótico.

DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Nace el río Bernesga a 1.580 m de altitud en las

proximidades del Puerto de Pajares, al Norte de la provincia de León, prácticamente en el límite con la provincia de Asturias, yendo a desembocar en la margen derecha del Esla entre las localidades de Vega de Infanzones y Palanquinos (Fig. 1). Tiene una longitud aproximada de 80 Km, atravesando en dirección Sureste parte de la provincia de León. Su caudal se ve

incrementado con las aguas de varios ríos y arroyos, encontrándose entre los primeros el Camplongo, Rodiezmo y Casares en el tramo de montaña, mientras que aguas abajo de la capital recibe en su margen izquierda al Torío.

Desde su nacimiento hasta La Robla aproximadamente, el río corta una zona que bajo el punto de vis-

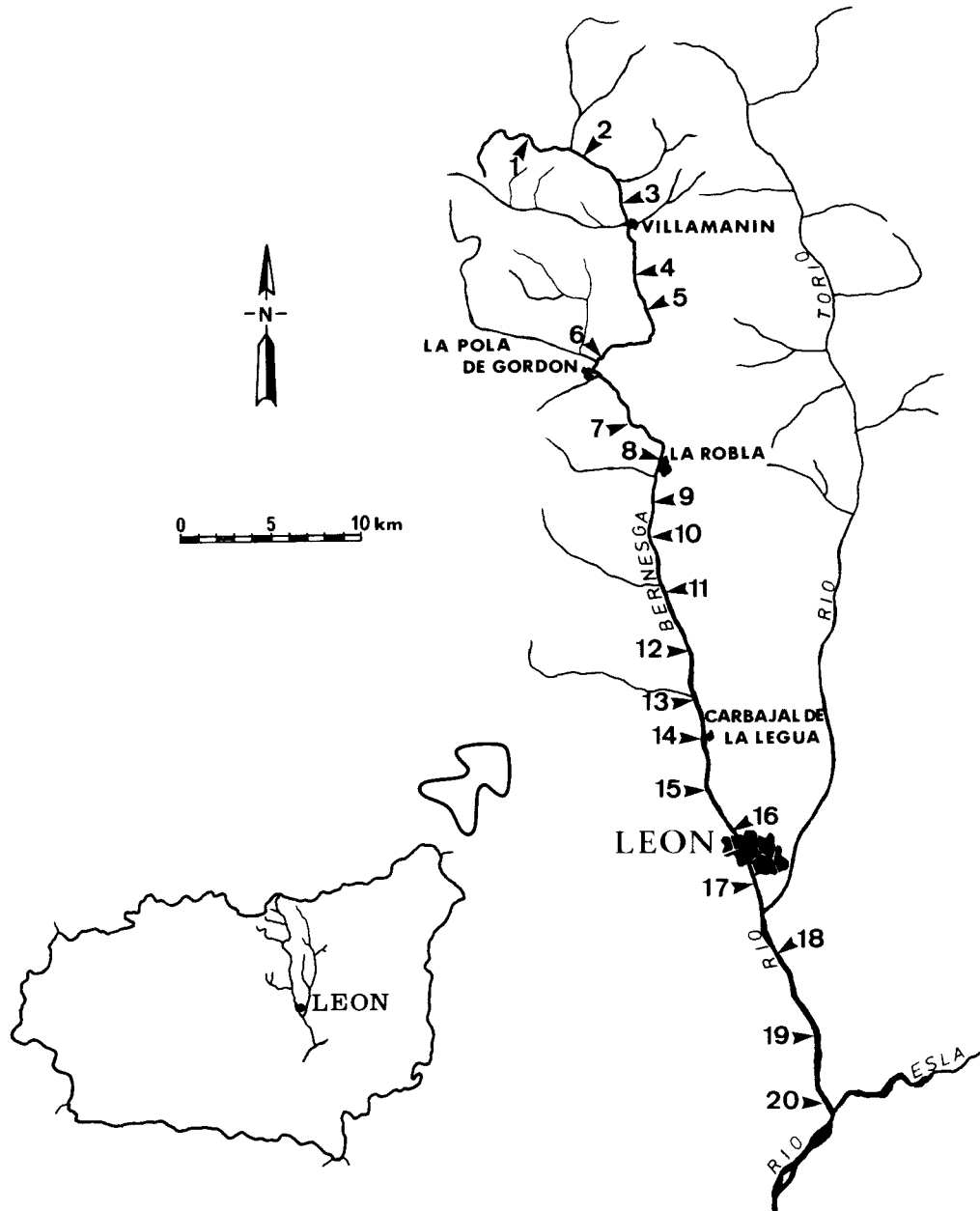


Figura 1.—Situación de las estaciones de muestreo en el río Bernesga
Location of the sampling sites in the Bernesga river.

ta geológica está caracterizada por una enorme variedad litológica, ya que están presentes pizarras, carbón, areniscas, cuarcitas, calizas, dolomías y margas pertenecientes en su totalidad al Paleozoico. Sin embargo, en los tramos medio y bajo drena un área más homogénea ocupada por arcillas, margas y areniscas de Edad Miocénica sobre las que se asientan depósitos de riñas (cantos de cuarcita redondeados con arcillas sabulosas rojizas y arenas) del Plioceno, así como materiales aluviales del Cuaternario arrastrados por el río desde la zona montañosa.

METODOLOGIA

Muestreo

El estudio de la composición físico-química del agua se ha llevado a cabo estableciendo a lo largo del río Bernesga 20 estaciones (Fig. 1) que se han muestreado durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 1981; y enero, abril, mayo, junio y julio de 1982.

El agua se ha recogido en botellas de plástico opaco y para su almacenamiento y conservación se han seguido las normas establecidas por la Environmental Protection Agency (E.P.A.). En el lugar de muestreo se ha medido el pH con un pH-56 WTW, el oxígeno disuelto mediante un medidor de campo OXI-57 WTW, y utilizando el equipo de laboratorio HACH DR-EL/2 se ha determinado el dióxido de carbono. Posteriormente, en el laboratorio, se ha analizado la alcalinidad total, dureza del calcio y del magnesio, sulfatos, cloruros, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, hierro total, sílice y conductividad a 25°C. utilizando el citado equipo de laboratorio, cuyas técnicas están basadas en el Standard Methods de la APHA.

En cada uno de los 20 puntos utilizados en la recogida del agua se ha obtenido una muestra de suelo dentro del cauce del río durante los meses de agosto y septiembre de 1982. En cada una de estas muestras se ha medido el pH (a partir de una pasta saturada del suelo con agua), el tanto por ciento de carbonatos (determinación gasométrica del CO_2), nitrógeno total (método Bouat y Crouzet), y materia orgánica (oxidación mediante dicromato potásico normal y ácido sulfúrico concentrado y valoración por retroceso de dicho agente oxidante con sal ferrosa, utilizando difenilamina como indicador); la cantidad de P_2O_5 (método Burriel-Hernando), CaO y K_2O (extracción con acetato amónico y medida posterior con espectrofotómetro de llama) y la razón C/N.

Tratamiento de datos

Con el fin de establecer la posible relación existente

entre la composición química del suelo aluvial y del agua en el río Bernesga se han realizado diferentes análisis de correlaciones canónicas entre las variables físico-químicas medidas en los dos ambientes, utilizando en el caso del agua los valores medios correspondientes al periodo muestreado.

El método de las correlaciones canónicas, desarrollado inicialmente por Hotelling (1936) es una generalización de la regresión múltiple que tiene por objeto encontrar la correlación máxima entre las combinaciones lineales (variables canónicas) de dos grupos de descriptores (Legendre & Legendre, 1977). Esta técnica multivariante ha sido utilizada en el campo de la ecología por diversos autores (Gauch y Wentworth, 1976; Peco *et al.*, 1980).

En el caso de variables que aparecen correlacionadas entre sí esta técnica multivariante puede considerarse sólo a una de ellas restando importancia a las demás (Peco *et al.*, 1980), por lo que para evitar este inconveniente que resulta de la no ortogonalidad de algunas variables comparadas se ha realizado previamente un análisis de componentes con cada uno de los dos grupos de descriptores, tras lo cual se han calculado las correlaciones canónicas entre los tres primeros ejes obtenidos en cada uno de dichos análisis.

Un proceso idéntico se ha seguido utilizando solamente los resultados en 17 estaciones de muestreo, previa eliminación de los tres últimos puntos situados aguas abajo de León. Antes de la realización del análisis en componentes principales en ambos casos, se han normalizado los datos mediante una transformación del tipo $y' = \frac{y - \bar{y}}{s}$ y, aplicada a todas las variables a excepción del pH, tanto en el agua como en el suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de componentes principales aplicado a las características físico-químicas del agua proporciona un porcentaje de varianza acumulada por los tres primeros componentes del 90,78%, correspondiendo al primero el 60,48%, mientras que el segundo explica el 23,02% y el tercero el 7,28%.

Para facilitar la interpretación de los resultados y visualizar la correspondencia entre las tendencias marcadas por las variables y la disposición de las estaciones de muestreo, se han superpuesto en este análisis y en los que se tratarán posteriormente las representaciones gráficas de variables e individuos en el plano definido por los componentes I y II; si bien es necesario tener en cuenta que la relación entre la posición de unas y otras es relativa, hecho que se deriva de la no coincidencia entre las escalas respectivas.

Las variables que contribuyen de forma más significativa a la definición del eje I en sentido positivo son el oxígeno y el pH, con coeficiente de dependencia de

0,82 y 0,74 respectivamente, en contraposición a casi la totalidad de las variables restantes y especialmente al hierro, cloruros, dióxido de carbono, fosfatos, amonio, sílice y conductividad, cuyos factores de carga van desde -0,92 para la primera hasta -0,86 para la última.

A través de esta disposición se pone de manifiesto una marcada polaridad en el componente I (Fig. 2) siendo característica además la concurrencia en el extremo negativo de nutrientes como hierro, amonio o fosfatos y de otros parámetros íntimamente ligados con el contenido en sales disueltas como cloruros, conductividad o alcalinidad. El aumento de todos estos elementos está en relación con una disminución de la concentración de oxígeno y del pH. Considerando esta distribución de las variables es posible deducir que el citado componente define en sentido negativo un gradiente conjunto de eutrofia y mineralización.

En el segundo eje la contraposición de las variables es menos acentuada, sin embargo desdobra estos dos procesos, de forma que en el extremo negativo adquieren importancia la dureza debida al calcio y al magnesio, el pH y la alcalinidad, mientras que el sentido positivo marca un enriquecimiento en nutrientes (amonio, hierro, fosfatos), es decir, un grado de eutrofización creciente.

Los procesos ligados a estos dos ejes quedan plasmados en la situación de las muestras en el plano que ambos definen. Las 20 estaciones muestreadas a lo largo del río se distribuyen en tres grupos (Fig. 2). Desde el primer cuadrante, donde se disponen aquellas que representan el tramo superior del río, hasta el extremo más negativo del segundo, donde se colocan los tres últimos puntos situados aguas abajo de León y próximos a la desembocadura, se establece un gradiente de mineralización, pasando a través del bloque más numeroso integrado por las muestras restantes, que se ordenan próximas al origen de coordenadas en los cuadrantes tercero y cuarto. Por otra parte, tanto en la zona superior del río como en el tramo que se extiende hasta León el grado de oligotrofia es bastante acentuado y solamente de forma puntual (Sta. Lucía-5-, Pola de Cordón-6-, Peredilla-7- y Los Llanos-%) en función de la proximidad de algún núcleo urbano de cierta importancia se producen ligeras desviaciones de esta característica general; sin embargo, un aumento excepcional de nutrientes se registra en las muestras de Vilecha (18), Villa de Soto (19) y Vega de Infanzones (20) como resultado de los aportes procedentes de León y sus alrededores. Es por esto que la ordenación de las muestras en el plano que determinan los componentes I y II no responde a un claro gradiente de eutrofización desde el nacimiento hasta la desembocadura del río. La colocación con relación al gradiente impuesto por el componente I de los tres últimos puntos muestreados en orden inverso

a su situación en el río puede entenderse como resultado del proceso de autodepuración del río.

En el análisis de los datos edáficos la varianza explicada por los tres primeros componentes es del 75,62% correspondiéndoles respectivamente el 39,03; 19,25 y 17,34 por ciento.

En el componente I no existe una polaridad en la distribución de las variables, ya que únicamente el pH tiene un factor de dependencia negativo, pero sólo de -0,03, mientras que las restantes variables tienen valores positivos, situándose en el extremo del eje la materia orgánica (0,87), nitrógeno (0,84) y K, O (0,79) (Fig. 2).

Con relación al segundo componente la oposición resulta evidente, correspondiendo al CaO el valor más positivo (0,74) en tanto que el cociente C/N, la materia orgánica y el nitrógeno determinan la parte negativa del citado componente con correlaciones de -0,57, -0,47 y -0,30 respectivamente. El pH, que juega un papel insignificante en estos dos componentes, aparece con un valor de 0,93 en el tercero.

De acuerdo con estos resultados se puede definir en relación con el eje I un gradiente de eutrofización o enriquecimiento en nutrientes en sentido positivo: mientras que el componente II discrimina entre aquellas variables que constituyen la fracción mineral del suelo, tales como el CaO o el K, O, y aquellas otras que están relacionadas con el "contenido orgánico como la relación C/N y los porcentajes de materia orgánica y nitrógeno.

El proceso de eutrofización determinado por el componente I, que sitúa a la muestra recogida en Pola de Gordón (6) en su extremo positivo como consecuencia especialmente de su elevado contenido en materia orgánica, nitrógeno y K_2O con relación a todas las demás, y en particular a Vilecha (20) y La Vid (4), se modifica sensiblemente bajo la acción del segundo eje, sobre todo a niveles medios del citado gradiente. En este sentido, el aumento de la fracción mineral se amplía hacia su extremo positivo donde se sitúan las muestras de Villa de Soto (19), Los Llanos (9), Pinilla (16) y Cabanillas (11); ricas en CaO, mientras que el incremento de la relación C/N y de materia orgánica se desplaza hacia el extremo negativo donde se disponen las muestras correspondientes a Busdongo (1), Camplongo (2) y Golpejar de la Tercia (3). El escaso contenido en materia orgánica y una relación C/N relativamente baja son dos particularidades comunes a la mayoría de las muestras, y que en general caracterizan a los suelos aluviales. En este tipo de suelos la parte superior del perfil está bien aireada durante el periodo seco y la materia orgánica se mineraliza rápidamente, de forma que tales suelos son poco húmidos (Duchaufour, 1978).

La comparación de los ejes obtenidos en el análisis de componentes principales correspondiente a las ca-

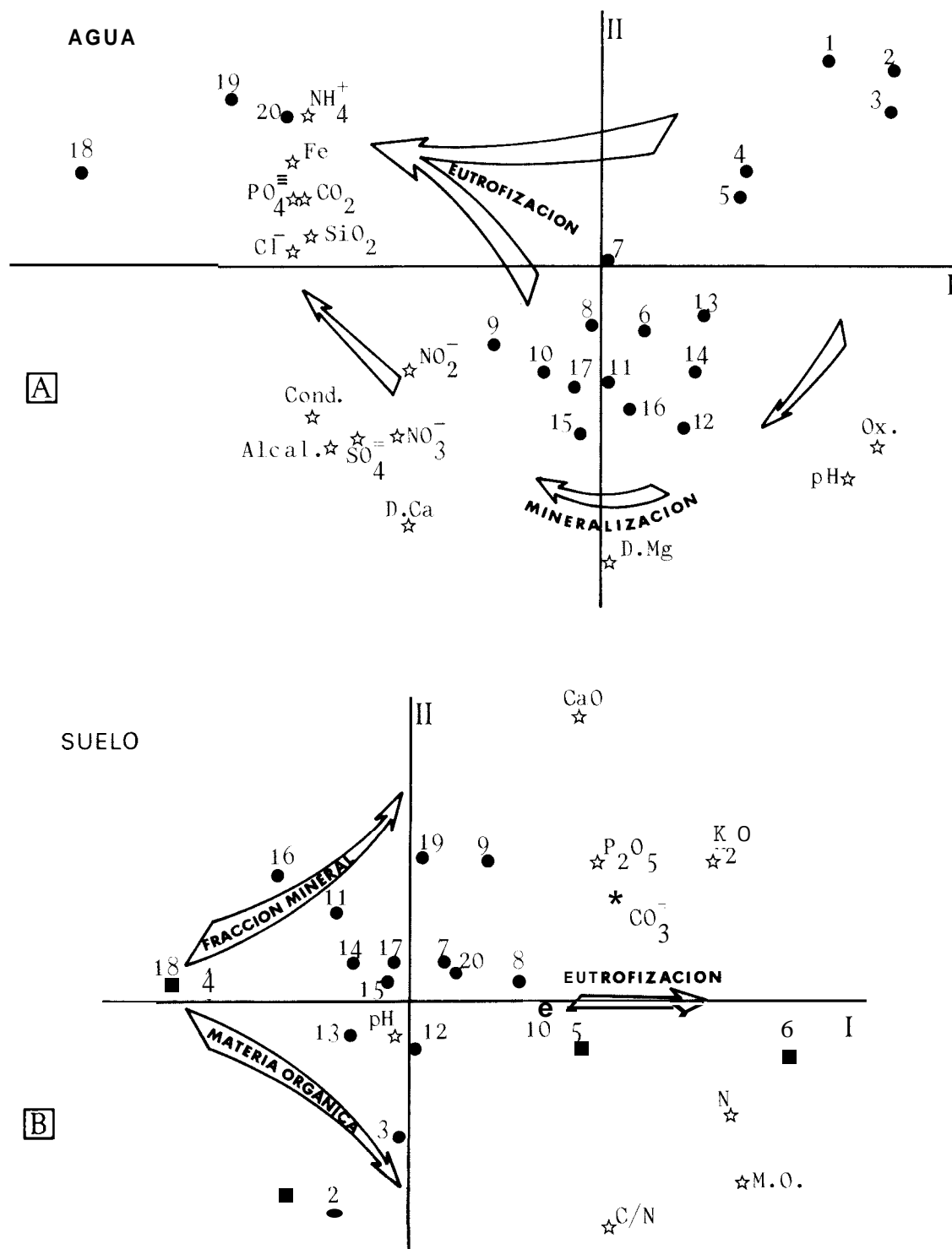


Figura 2.—Ordenación de las muestras y variables físico-químicas medidas en el agua (A) y en el suelo (B) en el plano definido por los dos primeros componentes principales en cada uno de los análisis.

Ordination of stands and physicochemical variables measured in the water (A) and soil (B) onto the plane defined by the first two axes in both analysis.

racterísticas físico-químicas del agua, con los que se derivan de este mismo análisis aplicado a los datos edáficos, da como resultado un valor de 0,81 para la primera correlación canónica, 0,67 para la segunda y 0,47 para la tercera, todas ellas significativas ($p \leq 0,05$) (Tabla 1). Sin embargo, el que en la última el coeficiente más elevado en el grupo de variables relativo a las características físico-químicas del agua corresponda al componente III, que aporta muy escasa información acerca de los procesos explicados por el análisis ha aconsejado la consideración exclusiva para su estudio de las dos primeras correlaciones canónicas.

De los ejes obtenidos en el análisis aplicado a las variables edáficas el II es el que tiene el coeficiente más elevado para la primera correlación canónica (0,742), en tanto que en el grupo de ejes correspondientes a las características físico-químicas del agua los tres tienen coeficientes más bajos o muy similares, de signo negativo para los dos primeros y positivo para el último.

Habida cuenta de la naturaleza inerte de los materiales que forman el lecho del río se puede considerar que en las interrelaciones entre los dos medios tiene más entidad la influencia del medio acuático sobre el terrestre, de forma que en la primera correlación se explica el enriquecimiento de la fracción mineral del suelo representada por el CaO , K_2O , P , O_5 y carbonatos y empobrecimiento en materia orgánica en función de la eutrofización y mineralización del agua. Este último aspecto pudiera resultar paradójico teniendo en cuenta el elevado grado de contaminación orgánica que caracteriza el agua en el tramo final del río, y que sin embargo, no queda reflejado en la composición del suelo. Esta circunstancia se debe probablemente a la fuerza de arrastre del agua que aún es bastante elevada en este tramo, y no permite la sedimentación de la materia orgánica que transporta: pero también puede tener explicación en la intensa mineralización a que se ve sometida dicha materia orgánica una vez que se inicia la retirada del agua.

En la segunda correlación canónica aparece como más importante el eje II del análisis realizado a partir de las variables medidas en el agua, mientras que en el grupo de componentes obtenidos a partir de los datos edáficos el III (con signo negativo) es el que aporta más información para esta nueva correlación. La segunda correlación relaciona una menor acidez en el suelo, es decir, un aumento del pH como expresión de una presencia importante de carbonatos activos y CaO con un incremento del nivel de dureza del agua debida al calcio y al magnesio, acompañado de una mayor alcalinidad.

Las peculiares características de los tres últimos puntos muestreados en el río en lo referente a la composición química del agua son reveladoras de un

acentuado grado de contaminación, que los hace totalmente diferentes de los restantes, y los aísla en el análisis de componentes principales. Teniendo en cuenta este hecho se ha considerado interesante la eliminación de las muestras recogidas en Vilecha, Villa de Soto y Vega de Infanzones con el fin de averiguar de qué forma esta supresión afecta a las tendencias puestas de manifiesto en el estudio de las correlaciones canónicas entre las características físico-químicas del agua y del suelo.

En el análisis de componentes principales aplicado a las variables medidas en el agua los tres primeros componentes absorben el 82,08% de la varianza total, correspondiendo al primero el 48,13% 25,66% al segundo y 8,30% al tercero.

Con relación al componente I no existe una bien definida polaridad entre las variables dado que todas tienen un coeficiente de dependencia positivo y desaparece la oposición del oxígeno y pH que venía impuesta por la inclusión de los tres últimos puntos donde los niveles de anoxia más acentuados coinciden con un fuerte enriquecimiento en nutrientes. Aunque siguen teniendo importancia en la definición del eje variables relacionadas con la eutrofización del agua como hierro, fosfatos o nitritos se identifica más claramente un gradiente de mineralización esencialmente alcalina. en base a la posición que ocupan la conductividad, alcalinidad o dureza debida al calcio (Fig. 3). En virtud de la ordenación de las muestras con relación a dicho gradiente se confirma que el agua está poco mineralizada en su tramo inicial, representado por Camplongo (2), Golpejar de la Tercia (3), Busdongo (1) y La Vid (4), aumentando el contenido iónico a medida que el río desciende hacia la zona baja.

Por su parte, la oposición que con relación al componente II manifiestan el oxígeno y pH por un lado y el amonio y fosfato por otro, permite asociar dicho componente con un proceso de eutrofización en sentido positivo, que parece estar ligado a la presencia de núcleos urbanos, dado que en este extremo del eje se ordenan las muestras correspondientes a Peredilla (7), Los Llanos (9), Santa Lucía (5) y La Robla (8), en tanto que en el extremo negativo lo hacen las de Carbajal (14), Santibáñez (12) y Lorenzana (13), que abarcan un tramo del río bastante alejado de ambientes rurales.

La supresión de los tres últimos puntos analizados en el río conduce a unos resultados que coinciden en muchos aspectos con los obtenidos por Prat et al., (1980); si bien, estos autores definen el eje I como de salinidad. no incluyendo la mineralización alcalina, que queda más relacionada con el eje II o con ambos, mientras que en este componente se oponen las características de eutrofia al oxígeno.

La eliminación de estos tres últimos puntos apenas

Tabla 1. Resultados de las correlaciones canónicas entre los tres primeros ejes del análisis de componentes principales aplicado a variables físico-químicas de agua y suelo en todas las estaciones muestradas (A) y eliminando las tres últimas (B).
 The results of the canonical correlations between the first three axes of the principal components analysis applied to physicochemical variables of the water and soil in twenty sampling sites (A), and eliminating the last three (B).

(A)							
1ª correlación: 0,810		X^2 : 31,60	Grados de libertad: 9		Significación: $p \leq 0,005$		
2ª correlación: 0,668		X^2 : 14,41	Grados de libertad: 4		Significación: $0,005 < p < 0,01$		
3ª correlación: 0,475		X^2 : 4,67	Grados de libertad: 1		Significación: $0,025 < p < 0,05$		
1 ^{er} grupo Var. (ejes suelo)	1ª corr.	2ª corr.	3ª corr.	2º grupo Var. (ejes agua)	1ª corr.	2ª corr.	3ª corr.
Eje I	0,115	-0,021	-0,554	Eje I	-0,287	-0,096	-0,137
Eje II	0,742	-0,268	0,165	Eje II	-0,222	0,471	0,136
Eje III	-0,283	-0,800	-0,028	Eje III	0,277	0,372	-0,837
(B)							
1ª correlación: 0,956		X^2 : 44,65	Grados de libertad: 9		Significación: $p \leq 0,005$		
2ª correlación: 0,748		X^2 : 11,59	Grados de libertad: 4		Significación: $0,01 < p < 0,025$		
3ª correlación: 0,176		X^2 : 0,45	Grados de libertad: 1		Significación: $0,50 < p < 0,75$		
1 ^{er} grupo Var. (ejes suelo)	1ª corr.	2ª corr.		2º grupo Var. (ejes agua)	1ª corr.	2ª corr.	
Eje I	0,142	-0,300		Eje I	0,371	0,002	
Eje II	0,591	-0,290		Eje II	-0,010	-0,475	
Eje III	0,533	0,684		Eje III	-0,059	0,324	

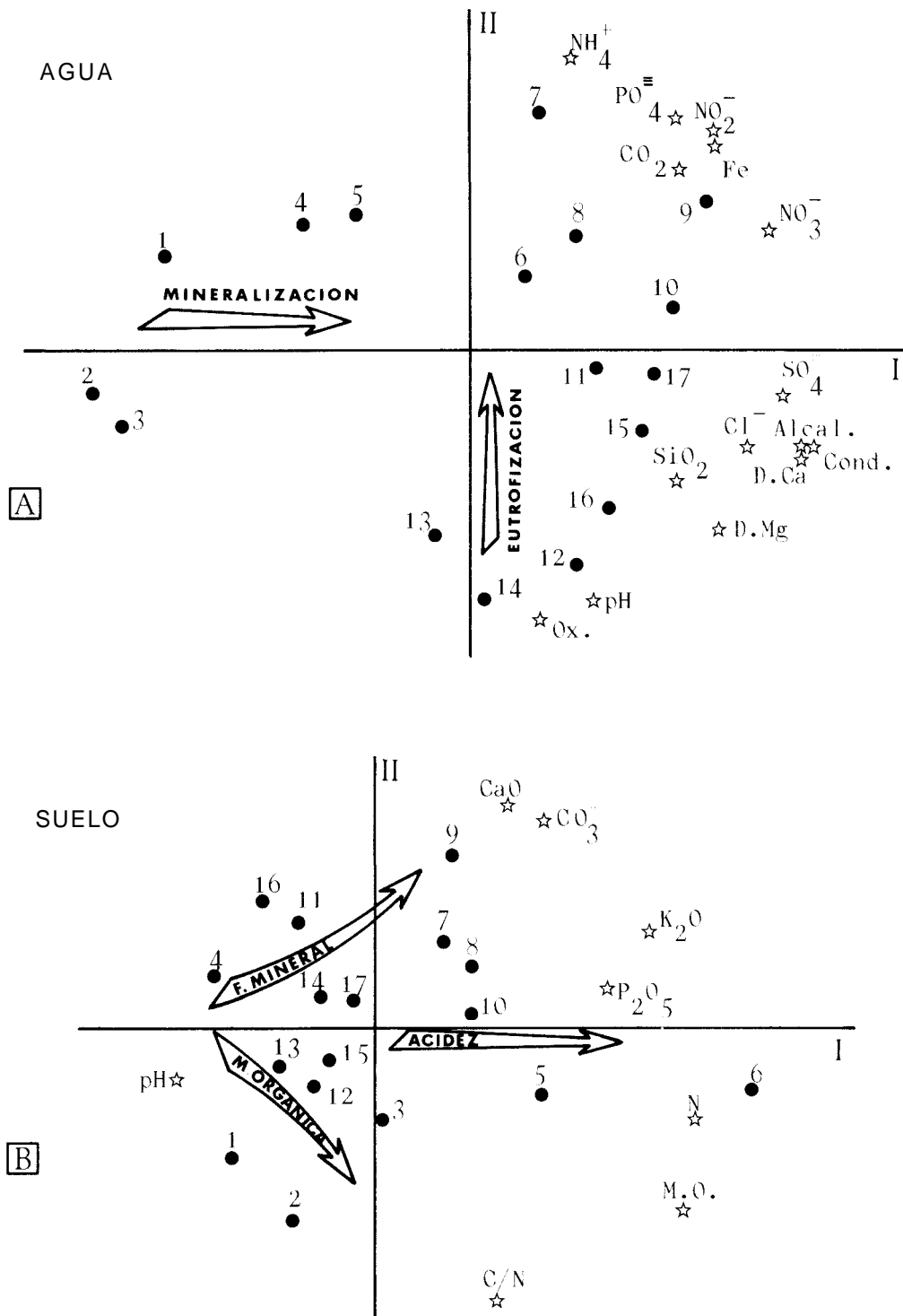


Figura 3.—Ordenación de las 17 primeras muestras y de las variables físico-químicas medidas en el agua (A) y en el suelo (B) en el plano definido por los componentes I y II en cada uno de los análisis.
 Ordination of the first stands and physicochemical variables measured in the water (A) and soil (B) onto the plane defined by the components I and II in both analysis.

modifica el análisis en componentes principales aplicados a los datos edáficos. La varianza explicada por los tres primeros componentes es del 77,73% correspondiendo al primero un 41,59%, en tanto que el segundo y tercero absorben un 21,27% y 14,87% respectivamente de la varianza total. La ausencia de polaridad en la ordenación de las variables, que caracterizaba el eje I al considerar todas las muestras a lo largo del río, no se mantiene como consecuencia de un desplazamiento del pH hacia el extremo negativo, en oposición a las restantes características químicas y en particular al porcentaje de nitrógeno y de materia orgánica, que mantienen la posición anterior (Fig. 3). Se establece así una ordenación de las muestras con relación a este eje, de forma que en el extremo positivo se sitúa nuevamente la correspondiente a Pola de Cordón (6), mientras que en la parte negativa no se registra una situación tan extrema y son varias las muestras (La Vid-4-, Pinilla-16-, Lorenzana-13-) que presentan un pH más elevado junto a un contenido orgánico reducido.

En cuanto al segundo componente existe una casi total coincidencia en la disposición de las variables con la obtenida al incluir todos los puntos analizados de forma que se define una oposición entre la materia orgánica y su grado de mineralización por un lado, y la fracción mineral del suelo por otro. Esta última representada principalmente por el CaO y los carbonatos, que aumentan siguiendo el sentido positivo del eje y siguen desplazando hacia esa posición las muestras recogidas en Los Llanos (9), Pinilla (16) y Cabanillas (11), donde por otra parte existe una buena mineralización de la materia orgánica, frente a las de Camplongo (2) y Busdongo (1) caracterizadas por unos niveles de CaO muy bajos y una mineralización de la materia orgánica menos acentuada (C/N más alta).

El escaso porcentaje de varianza explicada por el eje III dificulta la identificación de un proceso o una tendencia concreta en relación con este eje. Los factores de carga tienen todos signo positivo, y el hecho de que la mayor importancia corresponda al pH, al igual que sucedía cuando se consideraban todos los puntos muestreados a lo largo del río, puede inducir a pensar en un gradiente de acidez-alcalinidad del suelo.

Ai efectuar un estudio de correlaciones canónicas similar al anterior pero con estos nuevos ejes se obtienen dos correlaciones canónicas significativas ($p \leq 0,05$). La primera tiene un valor de 0,956 correspondiendo al eje II el coeficiente más elevado para el primer grupo de variables (0,59), en tanto que el componente I del segundo grupo con un coeficiente de 0,371

es la variable que aporta mayor información en esta correlación (Tabla I). La eliminación de los puntos que recogen un acentuado grado de contaminación en el río no produce variaciones significativas si se comparan los resultados con los obtenidos en el primer análisis. Solamente hay que resaltar que en este caso el proceso de eutrofización en el agua queda desplazado a un segundo término, de forma que esta primera correlación canónica pone de manifiesto una clara influencia de la mineralización alcalina del agua sobre la fracción mineral del suelo representada fundamentalmente por el CaO y los carbonatos.

La segunda correlación tiene un valor de 0,748 siendo el componente III dentro del primer grupo de variables y el II dentro del segundo, con coeficientes positivo y negativo respectivamente, los que proporcionan mayor información acerca de dicha correlación, cuyo significado es muy similar al obtenido previamente en el estudio completo del río. En función de los procesos que recogen cada uno de estos tres ejes se puede señalar que la segunda correlación canónica viene a explicar la relación existente entre el aumento del pH en el suelo y el grado de alcalinidad del agua representado asimismo por el pH y que está ligado a una mayor oxigenación y oligotrofia.

BIBLIOGRAFIA

- Duchaufour, P. 1978.** *Manual de edafología*. Toray-Masson. Barcelona. 476 pp.
- Gauch, H.G. & Wentworth, T.R. 1976.** Canonical correlation analysis as an ordination technique. *Vegretatio*, 33 (1): 17-22.
- Hotelling, H. 1936.** Relations between two sets of variables. *Biometrika*, 28: 321-377.
- Kendall, M.G. & Stuart, A. 1966.** *The advance theory of statistics*, vol. 3. Hafner Publ. Co., New York. 552 pp.
- Legendre, L. y Legendre, P. 1979.** *Ecologie numérique 2. La structure des données écologiques*. Masson. Les presses de l'Université du Québec. 254 pp.
- Margalef, R. 1983.** *Limnología*. Omega. Barcelona. 1.009 págs.
- Peco, B.; Quintas, M.A.G.; Ruiz, M. y Pineda, F.D. 1980.** Análisis de correlación canónica aplicado al estudio de pastizales en una cuenca granítica. *Studia Oecologica*, II: 91-114.
- Prat, N.; Puig, M.A.; González, G. y Tort, J. 1982.** Predicció i control de las aigües dels rius Besós i Llobregat, I. *Estudis monografics 6 del Servei del Medi Ambient*. Diputació de Barcelona.