

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE IONES EN LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA DE UNA CUENCA AGRÍCOLA

*Diéguez Villar, Antonio (1); Taboada Castro, M^a Teresa (1);
López Mosquera, M. Belén (1) y Dafonte Dafonte, Jorge (2)*

(1) Facultad de Ciencias. Universidad de A Coruña. A Zapateira, 15071 A Coruña.

(2) E.P.S. Universidad de Santiago de Compostela. Campus de Lugo. 27002 Lugo

SUMMARY

Temporal evolution of ion concentration in runoff water of an agricultural catchment.

The development of the modern agriculture and, particularly, the increase in fertilizer use has become a serious threat for continental water quality. In this work was to carry out a study about temporal evolution of nutrient levels in runoff water of an agricultural catchment. To put it into effect, water samples were taken out in three points situated along small streams that flow across a mainly agricultural and forest catchment, located in the province of Lugo. These samples were analysed by means of an ion concentration meter, which takes measurements with the help of ion-selective electrodes (ISE). The measurements used in this study were carry out from November 1997 to June 1998 and gave the following average values, stated in mg/L: Na⁺: 9,97, Ca²⁺: 1,78, K⁺: 0,64, NH₄⁺: 0,14, Cl⁻: 8,80, and NO₃⁻: 3,34. Seasonal behaviour was only observed in

NO_3^- measured concentrations. Fertilizer application at the end of spring resulted in a strong increase of NH_4^+ , NO_3^- , Na^+ , K^+ and Cl^- concentrations.

Key words: Runoff water, nutrients, agricultural catchment, fertilizers, diffuse contamination.

RESUMEN

El desarrollo de la agricultura moderna y, en concreto, el aumento del empleo de fertilizantes en las últimas décadas, supone una grave amenaza para la calidad de las aguas continentales. El objetivo de este trabajo es estudiar la evolución temporal de las concentraciones de algunos nutrientes en las aguas de escorrentía de una cuenca de uso principalmente agrícola y forestal, en la provincia de Lugo. Para ello se tomaron muestras de agua en tres puntos situados a lo largo de pequeños cauces que la atraviesan. Las muestras fueron analizadas utilizando una Sonda Multiparamétrica, basada en el empleo de electrodos selectivos de iones. Los análisis se realizaron entre noviembre de 1997 y junio de 1998 y arrojaron los siguientes valores medios expresados en mg/L: Na^+ : 9,97, Ca^{2+} : 1,78, K^+ : 0,64, NH_4^+ : 0,14, Cl^- : 8,80, y NO_3^- : 3,34. Sólo se apreció un comportamiento estacional en las concentraciones de NO_3^- . La aplicación de fertilizantes a finales de primavera se vió reflejada en un aumento brusco de las concentraciones de NH_4^+ , NO_3^- , Na^+ , K^+ y Cl^- .

Palabras clave: Aguas de escorrentía, nutrientes, cuenca agrícola, fertilizantes, contaminación difusa.

INTRODUCCIÓN

El incremento en la adición de desechos orgánicos y otros fertilizantes nitrogenados a los suelos de cultivo ha llevado a un considerable aumento de la producción agrícola en muchos países industrializados. En concreto, la aplicación de purines, práctica ampliamente utilizada en Galicia, une los beneficios en lo relativo a producción de las cosechas: suministro de nutrientes (principalmente N, P y K) y mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, a la posibilidad de eliminación de residuos a muy bajo coste.

Puede decirse que las ventajas del desarrollo de estas prácticas son bastante evidentes. Menos evidentes, aunque no menos importantes, son sus inconvenientes. Entre ellos cabe destacar el de su contribución a la eutrofización de ríos y lagos, provocada por el aumento de los aportes de nutrientes a las aguas superficiales y subterráneas. A esta contaminación por nutrientes hay que añadir también la contaminación microbiológica, provocada por organismos patógenos como *Salmonella* y *Criptosporidia*, y la producida por metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio y arsénico (FOULKES, 1991).

El origen de la mayor parte de estos efectos negativos está en una planificación deficiente de las prácticas agrícolas, que surge muchas veces como consecuencia de la sobreestimación de las necesidades reales de nutrientes de los cultivos. Estas pérdidas de nutrientes en la cadena de producción alimentaria representan un problema económico, además de una contribución a la contaminación acuática y atmosférica.

Desde la década de los setenta, muchas fuentes puntuales de nitrógeno y otros nutrientes, como las de tipo industrial y los vertidos de aguas residuales urbanas han disminuido progresivamente debido a la creciente instalación de plantas de tratamiento. Sin embargo, las pérdidas difusas de estos nutrientes en terrenos agrícolas han permanecido al mismo nivel o se han incrementado, principalmente a causa del aumento en el uso de fertilizantes, tanto químicos como orgánicos. En España, el consumo de fertilizantes nitrogenados se ha incrementado desde los 11 Kg/ha fertilizable de 1955 (DÍAZ *et al.*, 1989) hasta los 99,3 Kg/ha de 1990 (MOPU, 1990). En Galicia, el consumo de este tipo de fertilizantes era, en 1989 (MOPU, 1990), de 95,87 Kg/ha cultivada.

La reducción de la contaminación procedente de estas fuentes implica un control del empleo de fertilizantes, así como un seguimiento de ciertas características físico-químicas de las aguas que drenan terrenos agrícolas. El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio de la evolución estacional de las concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Cl^- y NO_3^- en las aguas superficiales de una cuenca con predominio agrícola.

La entrada de estos iones en las aguas de una cuenca depende de múltiples factores. Entre los más importantes cabe destacar los siguientes: uso del suelo (OMERNIK, 1976; PAWLIK-DOBROWOLSKI, 1983; SEKHAR and RAJ, 1995) condiciones meteorológicas (CONCARET et DE CRECY, 1989), tipo de prácticas agrícolas (GUPTA *et al.*, 1997), nivel de empleo de fertilizantes (DÍEZ LÓPEZ, 1995; DIÉGUEZ, 1998) y fertilidad del suelo y sustrato geológico (STACHOWICZ, 1993).

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

Las muestras de agua utilizadas para llevar a cabo este estudio fueron tomadas durante el periodo comprendido entre noviembre de 1997 y junio de 1998 en la Cuenca de Seixas. Esta cuenca está situada en el municipio de Taboada, en la provincia de Lugo y está constituida por terrenos de uso agrícola y forestal. Se encuentra aislada por su posición cerca de la cabecera del río Moredo y drena vía pequeños arroyos en su base, que reciben toda su agua de escorrentía. Estos arroyos carecen de flujo base, permaneciendo secos en verano.

La Cuenca de Seixas tiene una pendiente media del 22% y una extensión de 30 ha. Los suelos son Umbrisoles de textura media, ricos en materia orgánica y están formados sobre esquistos pelíticos. En algunas zonas presentan características hidromórficas. La distribución de usos del suelo está compuesta por una compleja mezcla de pradera (33%), zonas de bosque y matorral (64,6%) y terreno de cultivo (0,5%). La mayor parte de los terrenos de cultivo y los pastos están localizados principalmente en la parte más alta de la cuenca. El uso de fertilizantes nitrogenados inorgánicos es variable, pero siempre inferior al aporte orgánico, consistente principalmente en estiércol de granja y purines de vacuno. Gran parte de esta cuenca (19,8 ha), se muestra en el mapa topográfico presentado en DAFONTE *et al.* (1999).

Las precipitaciones acumuladas durante los meses del periodo de estudio se pueden observar en la figura 1.

Metodología

La toma de muestras se llevó a cabo de forma manual en tres puntos situados a lo largo de la cuenca. Estos puntos se encuentran localizados respectivamente en la salida

de la cuenca principal (punto Se3), de 30 ha de extensión, y colina arriba, en canales que drenan subcuencas de 21,8 (punto Se2) y 9,7 ha de extensión (punto Se1) respectivamente. El punto Se1 se encuentra a una altura de 455 m sobre el nivel del mar, el Se2 a una altura de 444 m y el Se3 a una altura de 398 m.

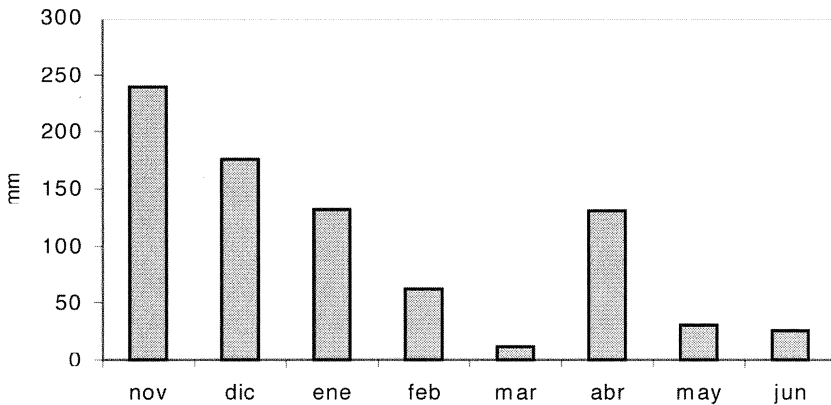


Figura 1. Precipitación mensual en la cuenca de Seixas.

El almacenamiento de las muestras, que fueron tomadas sin espacio de cabeza, fue realizado en frascos de PET (PolyEthylene Terephthalate). La conservación de estas muestras se realizó siempre en nevera (4 °C) para reducir en lo posible la actividad biológica. El periodo de conservación fue siempre inferior a 48 horas.

Los parámetros analizados fueron los cationes Na^+ , Ca^{2+} , K^+ y NH_4^+ y los aniones Cl^- y NO_3^- . Para llevar a cabo estos análisis se utilizó la Sonda Multiparamétrica Hydrion-10, un nuevo método analítico basado en el empleo de electrodos selectivos, que permite realizar análisis en aguas de una serie de parámetros físico-químicos (temperatura, pH, conductividad eléctrica, y concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- y HCO_3^-) de una forma más rápida y económica que los métodos convencionales (TABOADA *et al.*, 1998 a; DIÉGUEZ, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Amonio y nitratos

Las concentraciones de nitratos medidas en la cuenca de Seixas presentan un valor medio de 3,3 mg/L (tabla 1). Este valor muestra una gran similitud con los resultados obtenidos por otros autores en cuencas agrícolas de países con una climatología similar a la gallega. Estudios realizados en una cuenca agrícola escocesa (LANGAN *et al.*, 1997) mostraron una concentración media de nitratos de 4,0 mg/L, mientras que el valor medio obtenido por JARVIE *et al.* (1997) en una serie de análisis llevados a cabo en siete ríos ingleses que drenan cuencas principalmente rurales fue de 3,1 mg/L NO₃.

El origen de la mayor parte del NO₃ medido en las aguas de esta cuenca está relacionado con la aplicación de fertilizantes, principalmente purines, en los pastos y terrenos de cultivo. Estos nitratos tienen su origen en la oxidación del amonio, procedente a su vez de la degradación de compuestos orgánicos como la urea, que aparecen en gran cantidad en los purines.

Como puede apreciarse en la tabla 1 y en la figura 2, existen claras diferencias entre los valores de concentración de nitratos medidas en los distintos puntos de muestreo. Se observa una disminución en las concentraciones de nitratos a medida que aumenta la distancia a la cabecera de la cuenca. Los niveles medios más elevados aparecen en las aguas del punto Se1 (5,08 mg/L), son algo más bajos en las aguas del punto Se2 (3,46 mg/L) y alcanzan los valores mínimos en el punto Se3, cuyas aguas contienen una concentración media de 1,51 mg/L.

	Se1	Se2	Se3	Total
Media	5,08	3,46	1,51	3,34
Nivel de conf. (95%)	1,10	1,47	0,41	0,70
Error típico	0,52	0,68	0,19	0,35
Mediana	5,58	3,46	1,17	2,68
Desviación estándar	2,22	2,44	0,82	2,42
Rango	6,84	7,02	2,72	8,17
Mínimo	1,75	0,7	0,42	0,42
Máximo	8,59	7,72	3,14	8,59
Nº muestras	18	13	18	49

Tabla 1. Resumen estadístico de los análisis de NO₃ (mg/L).

El factor con una mayor influencia a la hora de explicar esta tendencia tiene que ver con la distribución de usos del suelo en esta cuenca. Tal y como se describe en el apartado anterior, la mayor parte de los terrenos de uso agrícola de la cuenca de Seixas se encuentran en las zonas próximas a la cabecera, lo que explica que los valores más altos de concentraciones de nitratos aparezcan en las aguas del punto Se1. El principal responsable del descenso en los niveles de este ión a lo largo del área de estudio es el efecto de dilución provocado por las aguas con bajo contenido en nitratos que entran en el arroyo procedentes de las zonas de bosque y matorral, situadas en la parte baja de la cuenca. En estas zonas más bajas también existen terrenos dedicados a pastos, cuyas aguas de drenaje y escorrentía podrían contener elevadas concentraciones de nitratos susceptibles de ingresar en el cauce principal e influir en su composición. La principal razón para explicar por qué ésto no queda reflejado en los análisis puede ser la pequeña extensión de estas praderas en relación con la extensión de terreno forestal. Por otro lado, la existencia de zonas que presentan condiciones hidromórficas favorece el proceso de desnitrificación (DORIOZ et FERHI, 1994) (TABOADA *et al.*, 1998 b). Este proceso es llevado a cabo por varias especies de microorganismos que requieren para ello condiciones anóxicas y tiene como resultado la eliminación de NO_3^- del suelo y la emisión a la atmósfera de N_2 , N_2O , NO y NO_2 .

En la tabla 2 se presentan los resultados referentes al ión amonio. Sólo se aprecian niveles medios moderadamente altos de NH_4^+ , (0,34 mg/L) en el punto Se1 de lo que puede deducirse que el origen de estas altas concentraciones está también en la aplicación de fertilizantes en los terrenos agrícolas de la cabecera.

	Se1	Se2	Se3	Total
Media	0,34	0,02	0,01	0,14
Nivel de conf. (95%)	0,49	0,01	0,01	0,17
Error típico	0,231	0,006	0,006	0,086
Mediana	0,025	0,020	0,005	0,010
Desviación estándar	0,980	0,022	0,025	0,604
Rango	4,17	0,08	0,10	4,17
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	4,17	0,08	0,10	4,17
Nº muestras	18	13	18	49

Tabla 2. Resumen estadístico de los análisis de NH_4^+ (mg/L).

La gran diferencia existente entre las concentraciones medidas en el punto Se1 y las registradas en los otros dos puntos de muestreo (tabla 1) puede guardar relación, además de con el efecto de dilución antes mencionado, con los procesos de nitrificación y volatilización de NH_3 .

Variabilidad temporal

Los valores de concentraciones de NO_3^- obtenidos en las aguas de la cuenca de Seixas presentan un comportamiento estacional. Las concentraciones más altas aparecen en el mes de diciembre y experimentan en los meses siguientes un descenso progresivo, primero más suave y después más pronunciado, hasta alcanzar los valores mínimos a finales del mes de abril (fig. 2). Esta tendencia presenta una buena correspondencia con las descritas por otros autores: OENEMA and ROEST (1998) estudiaron los resultados de análisis de nitratos llevados a cabo durante siete años en aguas de drenaje de terrenos agrícolas, observando que los picos de niveles más altos aparecían al final del año, mientras que las concentraciones medidas en primavera eran bajas. Patrones de distribución estacional con máximos en invierno en las concentraciones de NO_3^- en aguas procedentes de terrenos o cuencas con predominio agrícola han sido descritos también por, GARRET (1991), MARTELAT *et al.* (1991), ZÁKOVÁ *et al.* (1993) y LANGAN *et al.* (1997).

En el gráfico de la figura 2 se aprecia también la aparición de un pico en las concentraciones de NO_3^- de las aguas recogidas en los puntos Se1 y Se2. Este incremento, que tiene su inicio a principios de mayo y alcanza el punto máximo en los primeros días de junio, tiene su origen más probable en la aplicación de fertilizantes, principalmente purines, característica de esa época del año.

En el caso del amonio, no se aprecian variaciones significativas en las concentraciones medidas a lo largo del periodo de estudio, a excepción de un fuerte pico a finales de mayo en las concentraciones del punto Se1 que se puede apreciar claramente en el gráfico de la figura 3 (en la que el recuadro de la parte superior derecha indica el valor del último punto de esta serie, que queda fuera de escala). Este pico coincide con el descrito para las concentraciones de nitratos y tiene, probablemente, el mismo origen.

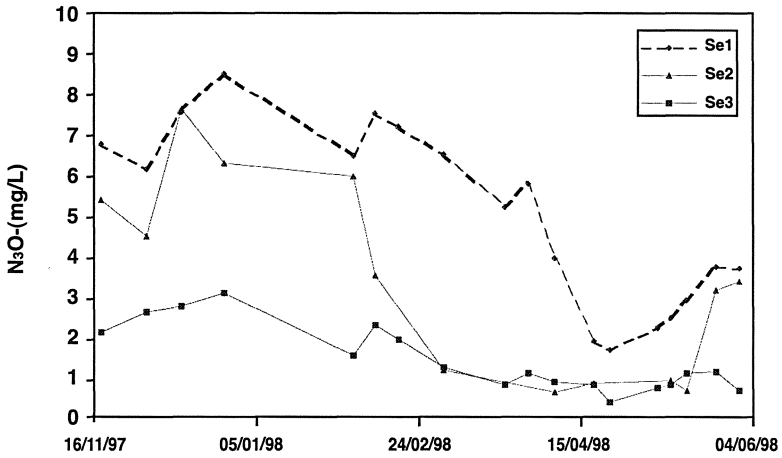


Figura 2. Evolución de la concentración de NO_3^- en los tres puntos de muestreo.

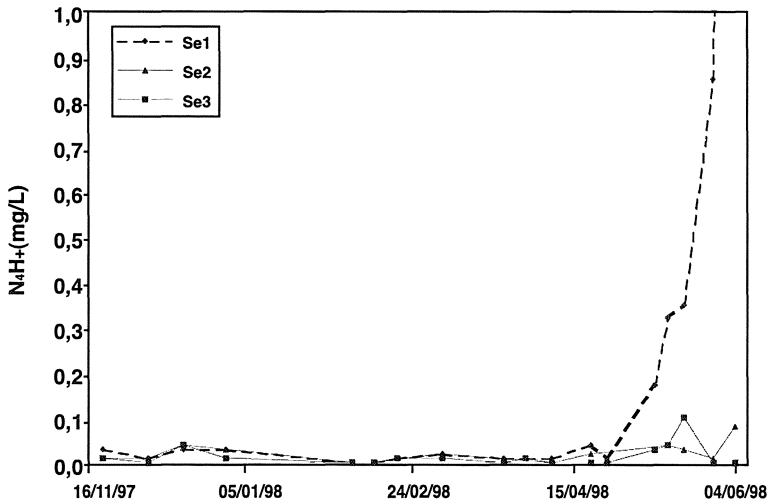


Figura 3. Evolución de la concentración de NH_4^+ en los tres puntos de muestreo (el recuadro de la parte superior indica el valor del último punto de la serie Se1).

Potasio, calcio, sodio y cloruros

La distribución de las concentraciones de K^+ , Na^+ y Cl^- a lo largo de la cuenca estudiada (tablas 3, 4 y 5 y Figs. 4, 5 y 6) presenta una tendencia similar a la descrita para las de nitratos. Se aprecia un descenso en las concentraciones medias de cada uno de estos iones a medida que aumenta la distancia a la cabecera de la cuenca. La causa principal de este comportamiento está relacionada, como en el caso de los nitratos, con la aplicación de fertilizantes, especialmente purines, en los terrenos agrícolas situados principalmente en las zonas altas de la cuenca. Estudios sobre la composición de los purines de vacuno en Galicia llevados a cabo por CARBALLAS *et al.* (1990) revelaron la presencia en éstos de elevadas concentraciones de K^+ y cantidades moderadamente altas de Na^+ y Cl^- .

	Se1	Se2	Se3	Total
Media	0,88	0,68	0,38	0,64
Nivel de conf. (95%)	0,18	0,30	0,16	0,13
Error típico	0,08	0,14	0,08	0,06
Mediana	0,79	0,55	0,28	0,59
Desviación estándar	0,36	0,50	0,33	0,44
Rango	1,55	1,65	1,37	2,02
Mínimo	0,59	0,12	0,17	0,12
Máximo	2,14	1,77	1,54	2,14
Nº muestras	18	13	18	49

Tabla 3. Resumen estadístico de los análisis de K^+ (mg/L).

	Se1	Se2	Se3	Total
Media	10,39	8,80	7,34	8,80
Nivel de conf. (95%)	0,59	1,03	0,44	0,52
Error típico	0,28	0,47	0,21	0,26
Mediana	10,60	9,40	7,34	8,95
Desviación estándar	1,18	1,70	0,89	1,79
Rango	4,32	5,08	3,37	7,08
Mínimo	8,48	5,72	5,87	5,72
Máximo	12,8	10,8	9,24	12,8
Nº muestras	18	13	18	48

Tabla 4. Resumen estadístico de los análisis de Cl^- (mg/L).

	Se1	Se2	Se3	Total
Media	14,16	7,44	7,43	9,97
Nivel de conf. (95%)	3,20	1,16	0,77	1,52
Error típico	1,52	0,53	0,36	0,76
Mediana	14,20	7,66	7,28	7,89
Desviación estándar	6,44	1,92	1,54	5,25
Rango	23,41	7,10	6,43	23,41
Mínimo	2,79	3,80	5,27	2,79
Máximo	26,20	10,90	11,70	26,20
Nº muestras	18	13	18	48

Tabla 5. Resumen estadístico de los análisis de Na⁺ (mg/L).

En el caso de los análisis de Ca²⁺ (tabla 6 y fig. 7) no existen grandes diferencias entre las concentraciones medidas en los tres puntos de muestreo. Los niveles más bajos aparecen en este caso en las medidas del punto Se2.

Variabilidad temporal

La evolución de las concentraciones de K⁺, Ca²⁺, Na⁺ y Cl⁻ medidas en la cuenca experimental de Seixas durante el periodo de estudio no presenta una tendencia estacional. El hecho más destacable es la aparición de un pico a finales de mayo en las concentraciones de K⁺, Na⁺ y Cl⁻, que coincide con el encontrado en las concentraciones de amonio y nitratos y para el que se puede asumir el mismo origen.

Conviene resaltar también las grandes oscilaciones registradas en las concentraciones de Na⁺ en el punto Se1 y, entre ellas, destacar a su vez los picos obtenidos en este punto a principios de los meses de febrero y abril. Estos picos podrían estar relacionados con el lavado de compuestos de Na⁺ existentes en estos terrenos de cultivo, debido a la aparición de episodios de lluvias de elevada intensidad en los periodos mencionados.

En el caso del Ca²⁺ (fig. 7), se puede señalar la aparición de un pico en el punto Se3, aunque la oscilación total en las concentraciones de este ión (1,22 - 3,05 mg/L) no es demasiado importante. La interpretación de este pico es complicada, sobre todo si se tiene en cuenta su escasa magnitud y el hecho de que las concentraciones medidas se hallan muy cerca del límite inferior del rango de medida de la Sonda Multiparamétrica

utilizada para realizar los análisis. Una posible explicación para una subida brusca en el contenido en Ca^{2+} de las aguas analizadas podría ser la aplicación de carbonato cálcico en alguna de las praderas o terrenos de cultivo (en este caso tendría que haber ocurrido en alguna zona situada en la parte baja de la cuenca), seguida de un episodio de lluvia de intensidad media o elevada.

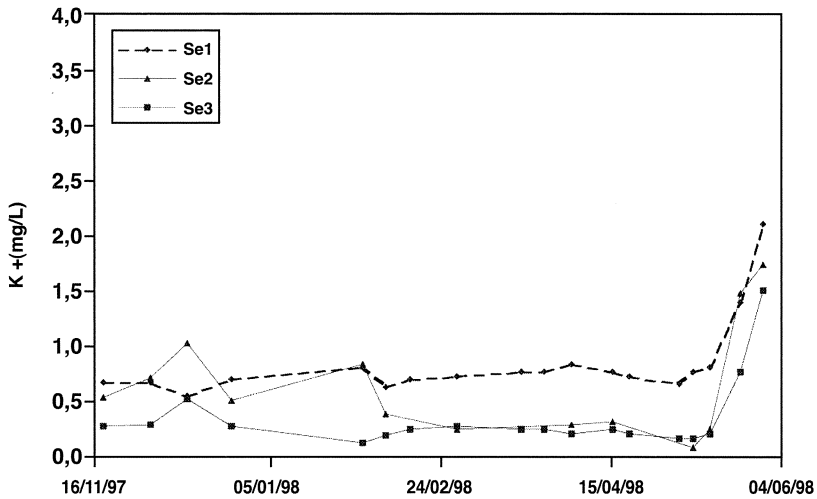


Figura 4. Evolución de la concentración de K^+ en los tres puntos de muestreo.

	Se1	Se2	Se3	Total
Media	1,88	1,64	1,79	1,78
Nivel de conf. (95%)	0,12	0,19	0,23	0,11
Error típico	0,05	0,09	0,11	0,05
Mediana	1,82	1,73	1,77	1,77
Desviación estándar	0,23	0,32	0,47	0,37
Rango	0,82	1,18	1,83	2,21
Mínimo	1,56	0,84	1,22	0,84
Máximo	2,38	2,02	3,05	3,05
Nº muestras	18	13	18	48

Tabla 6. Resumen estadístico de los análisis de Ca^{2+} (mg/L).

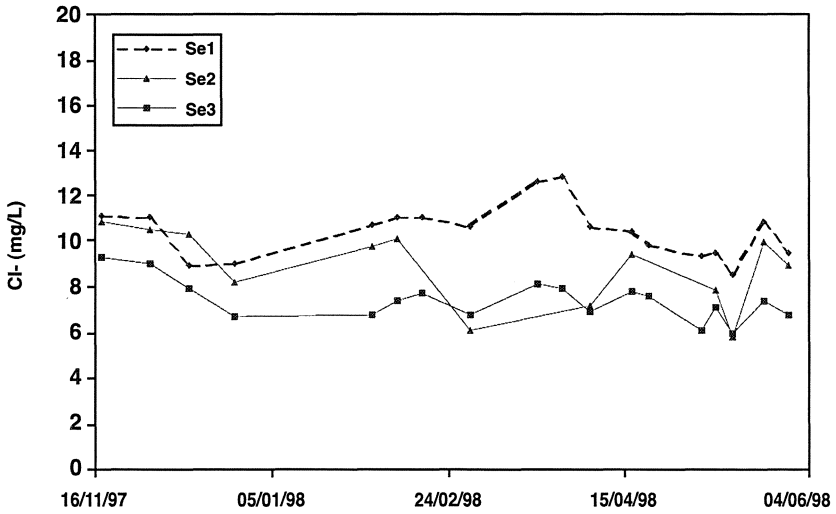


Figura 5. Evolución de la concentración de Cl⁻ en los tres puntos de muestreo.

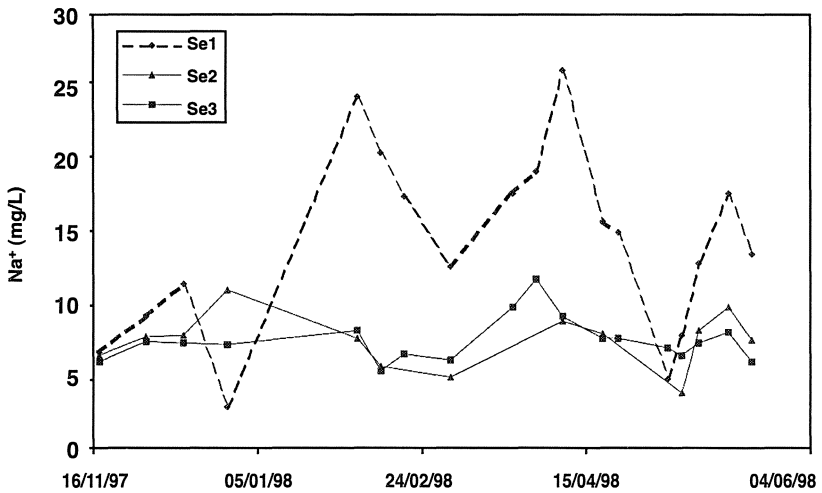


Figura 6. Evolución de la concentración de Na⁺ en los tres puntos de muestreo.

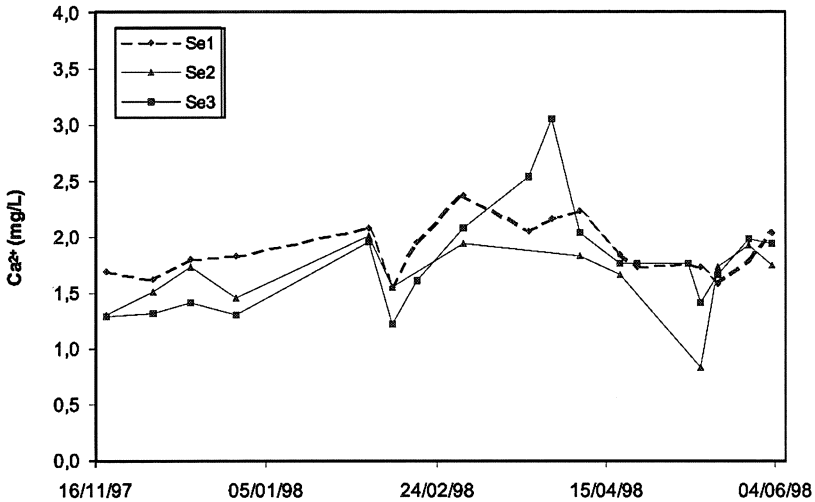


Figura 7. Evolución de la concentración de Ca^{2+} en los tres puntos de muestreo.

CONCLUSIONES

Las medidas realizadas con la Sonda Multiparamétrica sobre las muestras de la cuenca de Seixas se utilizaron para llevar a cabo un análisis de la variabilidad temporal de las concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , NO_3^- y NH_4^+ en las aguas superficiales de dicha cuenca.

Las concentraciones de la mayoría de los iones disminuyen al aumentar la distancia a la cabecera de la cuenca estudiada, punto donde se sitúan la mayor parte de los terrenos de uso agrícola. La única excepción a esta tendencia la representan las concentraciones de Ca^{2+} , que no presentan diferencias claras entre los distintos puntos de muestreo.

Es interesante destacar la evolución estacional de las concentraciones de NO_3^- , con valores máximos en diciembre que van disminuyendo progresivamente hasta alcanzar el mínimo a finales de abril.

La aplicación de fertilizantes a finales de primavera se hace patente a través de un incremento brusco en las concentraciones de NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , Cl^- y Na^+ .

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido financiado por la CICYT (proyecto HID96 – 1085 – CO2 – 01) y por la Xunta de Galicia (proyecto XUGA 10309B96).

BIBLIOGRAFÍA

- CARBALLAS FERNÁNDEZ, T., DÍAZ-FIERROS VIQUEIRA, F., ACEA, M. J., CABANEIRO ALBADALEJO, A., CARBALLAS FERNÁNDEZ, M., GIL SOTRES, F., LEIRÓS DE LA PEÑA, M. C., LÓPEZ PERIAGO, E., NÚÑEZ DELGADO, A. y VILLAR CELORIO, M. C. (1990). El purín de vacuno en Galicia. Caracterización, poder fertilizante y problemas ambientales. Consellería de Ordenación do Territorio e Obras Públicas. Xunta de Galicia. 162 pp.
- CONCRET, J. et DE CRECY, J. (1989). Composition des eaux de drainage. Resultats experimentaux. *Soil Technology*, 2: 185-203.
- DAFONTE, J., NEIRA, X. X. y VALCÁRCEL, M. (1999). Descripción de la instrumentación en una cuenca experimental para el estudio de la escorrentía y de la erosión. En: *Avances sobre el estudio de la erosión hídrica*. Paz González, A. y Taboada Castro, M. T. Colección Cursos Congresos e Simposios 52. Universidad de A Coruña. (239-254).
- DÍAZ, M. C., GARRIDO, S. e HIDALGO, M. R. (1989). Contaminación agraria difusa. Unidades temáticas ambientales. Dirección General de Medio Ambiente. MOPU. Madrid. 98 pp.
- DIÉGUEZ VILLAR, A. (1998). *Estudio del contenido en iones mayoritarios de las aguas de escorrentía de dos cuencas agrícolas*. Tesis de Licenciatura. Universidad de A Coruña. 94 pp.
- DÍEZ LÓPEZ, J. A. (1995). Situación actual de la contaminación de los acuíferos por nitratos. En: *La calidad de las aguas continentales españolas. Estado actual e investigación*, editado por Alvarez Cobelas, M. y Cabrera Capitán, F. 155-170.
- DORIOZ, J. M. et FERHI, A. (1994). Pollution diffuse et gestion du milieu agricole: transferts compares de phosphore et d'azote dans un petit bassin versant agricole. *Water Res.*, 28 (2): 395-410.
- FOULKES, D. M. (1991). Agrochemicals in the environment. En: *Chemistry, Agriculture and the Environment*. The Royal Society of Chemistry, 3-10.
- GARRET, M. K. (1991) Nitrogen losses from grassland systems under temperate climatic conditions. In: *Chemistry, agriculture and the environment*. The Royal Society of Chemistry, 121-132.

- GUPTA, R. K., RUDRA, R. P., DICKINSON, W. T. and WALL, G. J. (1997). Surface water quality impacts of tillage practices under liquid swine manure application. *J. of the Am. Water Res. Assoc.*, 33 (3): 681-687.
- JARVIE, H. P., NEAL, C., LEACH, D. V., RYLAND, G. P., HOUSE, W. A., and ROBSON, A. J. (1997). Major ion concentrations and the inorganic carbon chemistry of the Humber Rivers. *The Sci. of the Tot. Env.*, 194/195: 285-302.
- LANGAN, S. J., WADE, A. J., SMART, R., EDWARDS, A. C., SOULSBY, C., BILLET, M. F., JARVIE, H. P., CRESSER, M. S., OWEN, R. and FERRIER, R. C. (1997). The prediction and management of water quality in a relatively unpolluted major Scottish catchment: current issues and experimental approaches. *The Sci. of the Tot. Env.*, 194/195: 419-435.
- MARTELAT, A., ACKERER, P. and SCHENK, C. (1991). Spatial variability of water and nitrate migration in soil on a parcel scale. In: *Chemistry, agriculture and the environment*. The Royal Society of Chemistry, 157-184.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO, (1990). Medio Ambiente en España. *Monografías de la Secretaría General de Medio Ambiente*. Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, Madrid.
- OENEMA, O. and ROEST, C. W. J. (1998). Nitrogen and phosphorous losses from agriculture into surface waters; the effects of policies and measures in the Netherlands. *Water Sci. and Tech.*, 37 (2): 19-30.
- OMERNIK, J. M. (1976). The influence of land use on stream nutrient levels. EPA-600/3-76-014.
- PAWLIK-DOBROWOSKI, J. (1983). Changes in the chemical composition of surface waters under the influence of surface run-off pollution in the Western Carpathian Mountain. *Inst. Land Reclamation and Greenland*. 141 pp.
- SEKHAR, M. C. and RAJ, P. A. (1995). Landuse-water quality modelling, a case study. *Water Sci. and Tech.*, 31: 383.
- STACHOWICZ, K. (1993). Nonpoint pollution from agricultural watersheds in the Carpathian Plateau (Southern Poland). *Water, Air and Soil Pollution*, 69: 149-163.
- TABOADA CASTRO, M. T., DAFONTE DAFONTE, J. DIÉGUEZ VILLAR, A., TABOADA CASTRO, M. M. y LÓPEZ MOSQUERA, M. B. (1998 a). Compari-

son of denitrification in two agricultural catchments. *Lowland Grassland of Europe. Utilisation and Development. Research Conference 1998*. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo.

TABOADA, M. T., DIÉGUEZ, A. and TABOADA, M. M., (1998 b). Precision of a multiparameter probe for determination of ion concentrations in surface-water samples. *V International Symposium on Analytical Methodology in the Environmental Field*. A Coruña.

ZÁKOVÁ, Z., BERÁNKOVÁ, D., KOCKOVÁ, E. and KRÍZ, P. (1993). Influence of diffuse pollution on the eutrofication and water quality of reservoirs in the Morava river basin. *Water Sci. and Tech.*, 28 (3-5): 79-89.