

FORMAS DE FÓSFORO Y SU RELACIÓN CON LA EROSIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES BAJO CLIMA ATLÁNTICO

P. Sande¹; J.M. Mirás¹; E. Vidal² y A. Paz¹

¹Facultad de Ciencias. Universidad de A Coruña. A Zapateira s/n. 15071. A Coruña.

²Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario. 27002. Lugo.

RESUMEN. Los abonos orgánicos de origen ganadero y los fertilizantes inorgánicos aplicados al suelo en cantidades crecientes han motivado un aumento de las transferencias de nutrientes hacia las aguas superficiales y freáticas. El enriquecimiento de las aguas superficiales por fosfatos procedentes de las actividades agrícolas en condiciones de clima atlántico es debido, sobre todo, a la escorrentía superficial. En la mayor parte de los sistemas acuáticos el fósforo está considerado como el elemento limitante para que se inicie la eutrofización, de modo que se admite que, a partir de un umbral de 20 µg/l, existe un riesgo potencial de que se desencadene este proceso. En este trabajo se presentan los resultados del análisis de tres formas de fósforo; soluble, asociado a los sedimentos y total; en 743 muestras tomadas entre enero de 1999 y diciembre de 2004 en el río Valiñas (Coruña) a la altura de la localidad de Sésamo. Se pudo comprobar que más del 95% de las muestras analizadas presentaban contenidos de fosfato total mayores que 20 µg/l. En todos los años estudiados se observó un número limitado de eventos durante los cuales los contenidos en fósforo total superaban el umbral de 200 µg/l. Las distribuciones de frecuencia del fosfato total y asociado a los sedimentos presentan una fuerte asimetría positiva, mientras que la del fosfato soluble es más próxima a una distribución normal. Las concentraciones elevadas de fosfato pueden ocurrir en cualquier época del año, pero son más frecuentes en primavera y otoño, cuando el riesgo de erosión es mayor. Se encontró una correlación muy significativa entre fósforo total y fósforo asociado a los sedimentos. Por otra parte, también resultaron muy significativas las relaciones de dependencia lineal entre los sólidos en suspensión, el fosfato total y el fosfato asociado a sedimentos. Se puso de manifiesto que, a escala anual, la contribución al fósforo total de la fracción asociada a los sedimentos era superior a la del fósforo soluble; esta contribución es proporcionalmente mayor durante los períodos de flujo base.

ABSTRACT. Livestock organic manure and inorganic fertilizers applied to soil in high quantities have caused an increase of the nutrient transfers towards surface and subsurface water. Surface water enrichment by phosphates

from agricultural activities in atlantic climatic conditions is mainly associated with surface runoff. In most of the aquatic systems, phosphorus is considered to be the limitant element for starting eutrophication, so it is admitted that from a threshold of 20 µg/l exists a potential risk of triggering this process. In this paper, results from the analysis of three phosphorus forms; dissolved, sedimentary and total; in 743 samples taken between January 1999 and December 2004 in Valiñas River (Coruña) at a place called Sésamo, are shown. It is found that more than 95% of the analysed samples showed phosphate contents higher than 20 µg/l. In all of the years of study, it was observed limited number of events which total phosphorus contents were higher than the threshold of 200 µg/l. Sedimentary and total phosphorus frequency distributions show a high positive asymmetry while that of the dissolved phosphate is similar to the normal distribution. High positive concentrations can occur in every season of the year but they are more frequent in spring and autumn, when the erosion risk is higher. A very significant correlation between total and sedimentary phosphorus was found. On the other hand, lineal dependence relationships between suspended solids, total phosphate and sedimentary phosphate were very significant, as well. It was revealed that, at a yearly level, the contribution of the sedimentary phosphorus to the total phosphorus was higher than that of the dissolved phosphorus; this contribution is, proportionally, higher during the periods of basis flux.

1. Introducción

La creciente incidencia de las fuentes de contaminación difusa en las aguas ha puesto de relieve la necesidad de adoptar estrategias para minimizar las pérdidas de nutrientes en terrenos agrícolas. Las medidas a tomar deben basarse en estudios de la evolución de cada nutriente en el suelo y en las aguas, así como en los mecanismos de transporte y en el efecto de las diferentes prácticas agrícolas. Todos estos trabajos deben estar acompañados, a su vez, por una caracterización detallada del área de

estudio, ya que existen varios factores topográficos y edáficos que ejercen una importante influencia en el comportamiento de estos contaminantes. Por ello, se deduce la necesidad del establecimiento de un control de la calidad de las aguas de escorrentía procedentes de cuencas agrícolas.

La exportación de nutrientes desde los agroecosistemas hasta la red de drenaje es un factor importante en la contaminación difusa de los sistemas acuáticos superficiales, dado que está considerada como fuente de eutrofización. El elemento que, con mayor frecuencia, limita el desarrollo de la vegetación acuática es el fósforo que, por otra parte, en cantidades superiores a determinados umbrales puede causar eutrofización. La eutrofización puede comenzar a partir de contenidos de fósforo tan bajos como 20 µg/l, por lo que el lixiviado de fosfatos desde el suelo a los sistemas acuáticos supone, a menudo, serias consecuencias sobre los parámetros de los que depende la calidad medioambiental.

La importancia de este estudio se comprende si se tiene en cuenta que, en el marco de la sociedad sostenible, se pone cada vez más énfasis en una producción agrícola eficiente, compatible con la conservación del medio ambiente. Las transferencias de fósforo desde los suelos de cultivo a los sistemas acuáticos se consideran un caso paradigmático que permite ilustrar tanto las posibilidades como los límites de una producción agraria sostenible y viable desde el punto de vista económico.

Se admite que, al igual que ocurre con otros nutrientes, se debe mantener un mínimo de contenido en fósforo en el suelo para que la producción de los cultivos alcance niveles óptimos. Investigaciones recientes ponen de manifiesto que existe un umbral de fósforo en el suelo a partir del cuál el lavado del mismo, tanto por las aguas superficiales como por las aguas subsuperficiales, tiende a aumentar de forma exponencial.

Actualmente se admite que existen, al menos, tres mecanismos de transferencia de fosfato desde el suelo a los sistemas acuáticos: disolución y movimiento en forma soluble; transporte de formas adsorbidas, asociado al desplazamiento vertical de la fracción coloidal y, sobre todo, a los materiales erosionados; y, por último, pérdidas directas de fertilizante cuando llueve tras la aplicación del mismo. La importancia de cada uno de estos mecanismos puede variar en función del tipo de suelo, del manejo agrícola y de las condiciones climáticas.

De lo anterior se deduce la necesidad de establecer un control de la calidad de las aguas de escorrentía procedentes de cuencas agrícolas. Una parte importante de este control radica en la determinación del contenido en fósforo total, asociado a los sedimentos y disuelto, además del contenido en sólidos en suspensión de dichas aguas.

El objetivo principal de este trabajo estriba en conocer la variabilidad temporal de las concentraciones de fósforo total, asociado a los sedimentos y disuelto en la cuenca del río Valiñas (A Coruña) para lo que se estudian los resultados de muestras obtenidas a lo largo de seis años (1999-2004). Al mismo tiempo, se estiman las pérdidas totales de fósforo y se analiza la contribución relativa de los procesos erosivos a las mismas.

2. Material y métodos

La cuenca estudiada forma parte del curso alto y medio del río Valiñas, afluente del Mero, y se localiza en la provincia de A Coruña, a pocos kilómetros al sur de su capital. En este estudio se estableció el cierre de la cuenca en el puente localizado a la altura de la localidad de Sésamo, abarcando una superficie de 36,3 Km².

Los criterios de elección de la cuenca estudiada obedecieron a factores como la accesibilidad, la representatividad en cuanto a cultivos, las rotaciones y el tipo de laboreo, la disponibilidad de estaciones meteorológicas en las proximidades, la existencia de registros sistemáticos de caudal y los análisis previos de calidad de agua. El 35% del área estudiada se encuentra dedicado a policultivos en rotación, el 20% a pradera y el 45% restante a monte.

En este trabajo se estudió el contenido en fósforo total, asociado a los sedimentos y disuelto durante seis años, desde 1999 hasta 2004 ambos inclusive, en muestras tomadas durante crecidas y periodos de flujo base. Se tomaron 53 muestras en 1999, 175 en 2000, 131 en 2001, 78 en 2002, 193 en 2003 y 113 en 2004. El desigual número de muestras entre cada año está relacionado con, principalmente, la diferencia en la frecuencia y altura de las precipitaciones caídas durante cada uno de ellos. Estas muestras se recogieron manualmente en botellas PET (PoliEthylene Terephthale), conservándose en nevera a 4 °C para reducir, en la medida de lo posible, la actividad biológica.

Las distintas fracciones de fósforo se analizaron mediante espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inducido (ICP-MS), técnica espectroscópica multielemental que permite conocer de forma exacta y precisa las medidas del sistema periódico en un amplio intervalo de concentraciones, llegando a niveles de traza y ultratrazas. Para la determinación del fósforo total en la muestra es necesario llevar a cabo una extracción de la fracción que forma parte de la materia en suspensión presente. En el método oficial AOAC 973.55 (Cantarero et al. 2002), la extracción se lleva a cabo en placa calefactora, mientras que por el método ICP-MS se realiza mediante digestor de microondas (Sande Fouz, 2002, 2005). La determinación del fósforo disuelto se efectuó previo filtrado usando un filtro con tamaño de poro de 0,45 µm, por diferencia de estas dos fracciones (total y disuelta) se obtiene el fósforo asociado a los sedimentos.

Una vez obtenidos los resultados de los análisis, se procedió a realizar un estudio estadístico de los mismos. Para ello, se utilizó la hoja de cálculo Excel (Microsoft Corporation, 2000) calculándose los estadísticos descriptivos más importantes, la distribución de frecuencias y los coeficientes de correlación entre las diferentes variables.

Los métodos empleados se encuentran descritos con más detalle en Sande Fouz (2005).

3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presenta el resumen estadístico de las tres variables analizadas para todos los años estudiados.

Tabla 1. Resumen estadístico de las fracciones de fósforo en el periodo 1999-2004 (743 muestras).

	P _{DISUELTO}	P _{SEDIMENTO}	P _{TOTAL}
	μg/l		
Media	38,34	56,23	94,24
Mediana	34	30	62
Moda	31	14	44
Desviación estándar	21,77	98,90	107,50
Coefficiente de variación	176,07	56,85	87,67
Coefficiente de Curtosis	15,04	38,42	30,29
Coefficiente de asimetría	2,39	5,53	4,86
Rango	258	1064	1111
Mínimo	1	0	0
Máximo	259	1064	1111

La concentración media de fósforo total fue de 94,24 μg/l, la de fósforo asociado a los sedimentos de 56,23 μg/l y la de fósforo disuelto de 38,34 μg/l. Los datos medios de estos parámetros ponen de manifiesto un buen paralelismo entre fósforo total y fósforo asociado a los sedimentos. Los valores más elevados de estos dos parámetros (fósforo total y sedimentario) se midieron en el año 2002 y los más bajos en el 2001. Por el contrario, los valores medios anuales de fósforo disuelto presentan una oscilación interanual mucho menor, de modo que varían entre 29,52 μg/l en 2004 y 47,85 μg/l en 2000. Las distribuciones de frecuencias de las variables estudiadas son claramente asimétricas, como puede deducirse tanto de la diferencia entre la media y la mediana como del valor del coeficiente de asimetría. En efecto, en todos los años estudiados, la mediana fue inferior a la media. No obstante, algunas de las poblaciones de fósforo disuelto presentan distribuciones de frecuencia próximas a la normal, como se pone de manifiesto en el año 2000, para el que se obtuvo un coeficiente de asimetría de 0,63 y una diferencia entre media y mediana de -2,85 μg/l.

La disminución del valor de la mediana con respecto al de la media está motivada por la presencia de un pequeño número de muestras en las que la concentración de la variable estudiada es muy elevada, lo que es particularmente evidente en el caso del fósforo total y del fósforo asociado a los sedimentos; por el contrario, para el fósforo disuelto no son frecuentes diferencias elevadas entre media y mediana.

El valor de la mediana fue de 62 μg/l para el fósforo total, 30 μg/l para el fósforo asociado a los sedimentos y 34 μg/l para el fósforo disuelto. El valor del coeficiente de asimetría fue de 4,86, 5,53 y 2,39 para el fósforo total, asociado a los sedimentos y disuelto respectivamente.

El contenido en fósforo total osciló entre 0 y 1111 μg/l, en fósforo asociado a los sedimentos entre 0 y 1064 μg/l y en fósforo disuelto entre 1 y 259 μg/l. Para todos los años estudiados, el rango ha sido más elevado para el fósforo total que para el fósforo asociado a los sedimentos y, a su vez, el rango de fósforo sedimentario fue mayor que el de fósforo disuelto.

Los coeficientes de variación más elevados para el fósforo total y asociado a los sedimentos se observaron en el 2002, mientras que para el fósforo disuelto fue mayor en 1999. Para el conjunto de datos tomados durante 1999-2004 el coeficiente de variación fue de 176,07% para el fósforo disuelto, 56,85% para el fósforo asociado a los sedimentos y 87,67% para el fósforo total.

Se estudió la evolución estacional de las tres fracciones de fósforo para cada uno de los años estudiados. En la Fig. 1 se presenta un ejemplo de la evolución estacional de las tres formas de fósforo en 2002.

Se aprecia en los sucesivos años, un número limitado de eventos en que las concentraciones de fósforo total superan los 200 μg/l. Se comprueba que el aumento del contenido en fósforo total presenta un paralelismo notable con el aumento de fósforo asociado a los sedimentos, por el contrario el aumento de fósforo total parece depender menos de las formas de fósforo disueltas, como cabe esperar si se admite que concentraciones elevadas de fósforo están asociadas a la erosión.

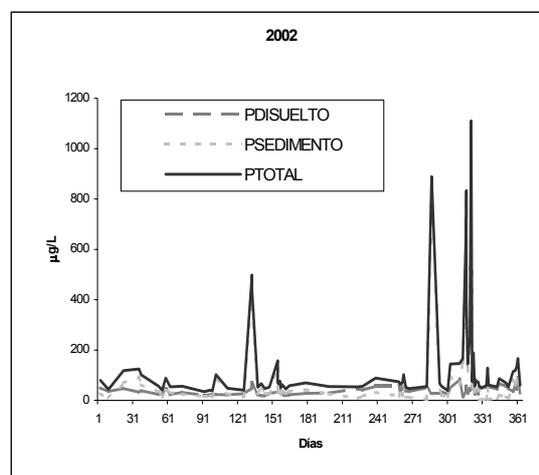


Fig. 1. Evolución estacional de las tres formas de fósforo estudiadas en 2002.

Los picos de fósforo total y asociado a los sedimentos son más frecuentes durante primavera y otoño. No obstante, se pueden registrar cantidades muy elevadas de fósforo en cualquier época del año además, los patrones de distribución interanuales de los picos son muy diferentes. En los seis años estudiados, las concentraciones máximas de fósforo total, asociado a los sedimentos y disuelto se observaron en el otoño, lo que pone de manifiesto la importancia del periodo de rehumectación en la dinámica de este elemento. En cuanto a la variabilidad interanual se observa una importante diferencia en las concentraciones de fósforo total durante 2001 y 2002 ya que, para el primero de dichos años, la concentración máxima ascendió a 269 μg/l y en el segundo se llegaron a medir 1111 μg/l, lo que supone cifras del orden de cuatro veces más elevadas. Los contenidos más elevados de fósforo total parecen depender no solo de la intensidad y duración de las precipitaciones, sino también de los factores agronómicos. La proporción

entre fósforo disuelto y total tiende a disminuir en periodos de caudal elevado y a aumentar, durante el estío.

Todo esto pone de manifiesto la influencia de la estacionalidad sobre las concentraciones de las distintas formas de fósforo. En periodos de precipitación elevada, los fenómenos de erosión y escorrentía de los suelos agrícolas, deben causar un aumento del fósforo asociado a los sedimentos. En cambio, la aplicación de purines y fertilizantes suelen relacionarse con un aumento del fósforo disuelto. No obstante, no siempre se puede observar una relación causa-efecto que explique la magnitud del contenido en fósforo en una época dada, es decir, contenidos elevados en fósforo pueden estar relacionados con distintos factores. Así, el valor máximo de fósforo disuelto ascendió a 259 $\mu\text{g/l}$, cifra elevada, que puede estar relacionada con el lavado de fosas sépticas y la aplicación de purines y fertilizantes.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las concentraciones de fósforo obtenidas entre 1999 y 2001 teniendo en cuenta diferentes umbrales.

Tabla 2. Número de muestras que superan los umbrales de 10, 20, 50, 100 y 200 $\mu\text{g/l}$ de fósforo total y número de eventos en que se midieron más de 200 $\mu\text{g/l}$.

Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004
N	53	175	131	78	193	113
N>10 $\mu\text{g/l}$	52	175	131	78	193	113
N>20 $\mu\text{g/l}$	52	175	131	78	192	113
N>50 $\mu\text{g/l}$	43	153	86	63	139	53
N>100 $\mu\text{g/l}$	22	60	14	26	26	16
N>200 $\mu\text{g/l}$	12	21	4	10	10	6
Eventos>200 $\mu\text{g/l}$	9	8	4	4	7	5

Se comprueba que todas las muestras analizadas excepto una, de las tomadas en 1999 presentan contenidos superiores al umbral de 10 $\mu\text{g/l}$ y del mismo modo todas las muestras excepto dos presentan también contenidos mayores de 20 $\mu\text{g/l}$. Por tanto, si se tiene en cuenta el criterio restrictivo de Champ (1998), que admite que la eutrofización puede desencadenarse a partir de 20 $\mu\text{g/l}$, se comprueba que, prácticamente, todas las muestras analizadas en los seis años en el río Valiñas, con dos excepciones superan el umbral potencial de riesgo. Si seguimos los criterios de Uunk (1990), que considera aguas eutróficas cuando el contenido en fósforo está comprendido entre 50 y 100 $\mu\text{g/l}$ y aguas contaminadas por acción antropogénica cuando el contenido en fósforo está comprendido entre 100 y 170 $\mu\text{g/l}$, se detectó estado eutrófico en el 83% de los casos estudiados en 1999, el 87% en 2000, el 67% en 2001, el 81% en 2002, el 73% en 2003 y el 46,9% en 2004. por otra parte, 22 de las 53 muestras tomadas en 1999, 60 de las 175 muestras tomadas en 2000, 14 de las 131 muestras tomadas en 2001, 26 de las 78 muestras tomadas en 2002, 26 de las 193 muestras tomadas en 2003 y 16 de las 113 muestras tomadas en 2004 superan los 100 $\mu\text{g/l}$ de fósforo total, por lo que podrían considerarse como contaminadas, e incluso muy contaminadas.

Al observar la correlación entre las distintas formas de fósforo, en las Tablas 3 y 4, destaca la estrecha dependencia

entre el fósforo asociado a los sedimentos y el total. También se pone de manifiesto que, tanto durante cada uno de los seis años, como para el conjunto de las muestras, se observan correlaciones muy significativas entre las siguientes variables: sólidos en suspensión/fósforo asociado a los sedimentos y sólidos en suspensión/fósforo total. La relación entre fósforo disuelto y total fue siempre significativa excepto en el año 2002.

La elevada correlación entre sólidos en suspensión, fósforo asociado a los sedimentos y fósforo total proporciona evidencia adicional acerca del origen erosivo de parte del fósforo transportado por las aguas del río Valiñas.

Entre el fósforo disuelto y el fósforo asociado a los sedimentos se encontró una correlación positiva en 1999, 2000, 2001 y 2003, lo que no se apreció en los años 2002 y 2004. Durante todos los años estudiados el coeficiente de correlación entre fósforo disuelto y asociado a los sedimentos fue inferior al de fósforo disuelto y fósforo total.

Tabla 3. Resultados de la regresión entre tres formas de fósforo y sólidos en suspensión (fósforo en $\mu\text{g/l}$ y sólidos en suspensión en mg/l) para los años 1999 a 2002.

	1999 (N = 53)	2000 (N = 175)	2001 (N = 131)
	r	r	r
$P_{\text{TOTAL}}/P_{\text{SEDIMENTO}}$	0,959 *	0,975 *	0,935 *
$P_{\text{TOTAL}}/\text{Sólidos Suspensión}$	0,635 *	0,896 *	0,911 *
$P_{\text{SEDIMENTO}}/\text{Sólidos Suspensión}$	0,738 *	0,910 *	0,905 *
$P_{\text{TOTAL}}/P_{\text{DISUELTO}}$	0,805 *	0,618 *	0,760 *
$P_{\text{SEDIMENTO}}/P_{\text{DISUELTO}}$	0,644 *	0,430 *	0,480 *
$\text{Sólidos Suspensión}/P_{\text{DISUELTO}}$	0,252 -	0,425 *	0,594 *

- relación no significativa

+ relación significativa, $P = 0,95$

* relación muy significativa, $P = 0,99$

Tabla 4. Resultados de la regresión entre tres formas de fósforo y sólidos en suspensión (fósforo en $\mu\text{g/l}$ y sólidos en suspensión en mg/l) para los años 2003 y 2004 y el total del periodo 1999 a 2004.

	2002 (N = 78)	2003 (N = 193)	2004 (N = 113)
	r	r	r
$P_{\text{TOTAL}}/P_{\text{SEDIMENTO}}$	0,997 *	0,983 *	0,979 *
$P_{\text{TOTAL}}/\text{Sólidos Suspensión}$	0,923 *	0,932 *	0,858 *
$P_{\text{SEDIMENTO}}/\text{Sólidos Suspensión}$	0,925 *	0,960 *	0,859 *
$P_{\text{TOTAL}}/P_{\text{DISUELTO}}$	0,168 -	0,538 *	0,285 *
$P_{\text{SEDIMENTO}}/P_{\text{DISUELTO}}$	0,093 -	0,373 *	0,087 -
$\text{Sólidos Suspensión}/P_{\text{DISUELTO}}$	0,010 -	0,298 *	0,157 -

- relación no significativa

+ relación significativa, $P = 0,95$

* relación muy significativa, $P = 0,99$

En la Fig. 2 se presenta un ejemplo de la relación entre fósforo asociado a los sedimentos y total durante el periodo 1999-2004.

Las correlaciones en general débiles entre fósforo disuelto/fósforo total o en su caso entre fósforo disuelto/fósforo asociado a los sedimentos son un resultado esperado. Los bajos coeficientes de determinación entre el fósforo disuelto y las otras tres variables pueden ser atribuidas al hecho de que, a escala de cuenca, los procesos de los que depende la transferencia del fósforo disuelto no presentan relación alguna con aquellos que intervienen en

la dinámica del fósforo asociado a los sedimentos y los sólidos en suspensión.

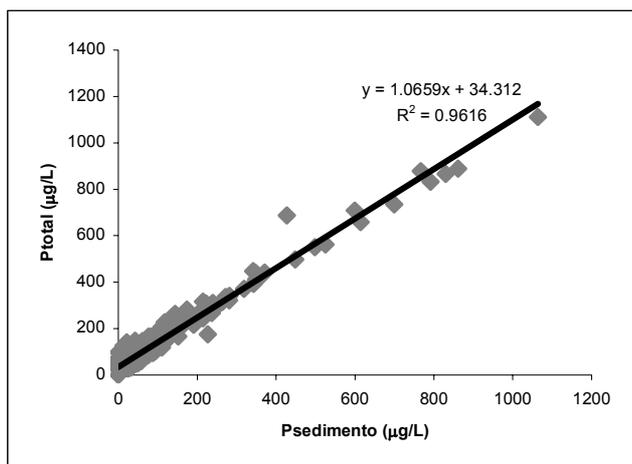


Fig. 2. Relación entre fósforo asociado a los sedimentos y total durante el periodo 1999-2004.

En realidad, habría que plantearse el significado de las correlaciones significativas que se encuentran durante algunos de los años estudiados entre el fósforo disuelto y el asociado a los sedimentos o el total. Dichas correlaciones positivas, pueden ser atribuidas simplemente a la metodología analítica empleada, dado que el fósforo disuelto se determina tras filtrar la muestra a 0,45 µm; en estas condiciones, un aumento de los sólidos en suspensión como se puso de manifiesto en la sección anterior, supone también un incremento del fósforo “soluble”. Dicho de otro modo, parte del fósforo de la fracción definida como “soluble” durante las crecidas pudiera ser de origen sedimentario, mientras que en periodos de flujo base se tiene la certeza de que todo el fósforo disuelto constituye una fracción de gran reactividad que en su mayor parte procede de residuos de origen animal y aguas residuales de los núcleos de población rural.

4. Conclusiones

Solamente dos de las 743 muestras analizadas superan el umbral de 20 µg/l de fósforo total, 164 de las 743 muestras superan el umbral de 100 µg/l de fósforo total y 17 de las 743 muestras superan el umbral de 400 µg/l de fósforo total.

Las distribuciones de frecuencias de fósforo total y fósforo asociado a los sedimentos de las muestras tomadas presentan valores de la media sensiblemente superiores a los de la mediana y una asimetría positiva debido a que los valores de un determinado número de muestras son extraordinariamente elevados. Por el contrario, las distribuciones de frecuencia de fósforo disuelto son más próximas a una distribución normal.

En los seis años estudiados, se observó un número limitado de episodios, entre cuatro y nueve anuales, en los que las concentraciones de fósforo total superan los 200

µg/l. Estas concentraciones pueden ocurrir en cualquier época del año y están siempre asociadas a precipitaciones intensas, pero son más frecuentes cuando la superficie de los suelos agrícolas se encuentra recién labrada, en primavera y otoño.

Se puso de manifiesto que la relación entre fósforo disuelto y fósforo total, así como el rango de oscilación entre estos dos elementos, era muy variable, dependiendo de las fuentes puntuales o difusas de las que procede el fósforo exportado. La proporción entre fósforo disuelto y fósforo total tiende a disminuir a lo largo del año, en periodos de caudal elevado y a aumentar durante el estío. En general, esta proporción es más elevada durante los periodos de flujo base que en los eventos durante los cuáles el caudal crece.

Se encontró una correlación muy significativa entre el fósforo total y el fósforo asociado a los sedimentos, del mismo modo también se encontraron correlaciones muy importantes entre fósforo asociado a los sedimentos y los sólidos en suspensión en todos los años estudiados. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la actividad agrícola y la erosión de los suelos labrados sobre la transferencia del fósforo a los sistemas acuáticos.

Agradecimientos. Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco de los proyectos de investigación de referencia REN2000-0445-HD y AGL2003-09284 financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y de la red de Erosión Hidrica de referencia PGIDIT05PXI16201RT, financiada por la Xunta de Galicia.

Referencias

- Cantarero, A., López, M.B., Mahía, S., Maestro, M.A. y Paz, A. 2002. Determination of total and dissolved phosphorus in agricultural runoff samples by ICP-MS. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 33 (15-18), 3431-3436 pp. New York. USA.
- Champ, W.S.T. 1998. Phosphorus/Chlorophyll relationships in selected Irish lakes: ecological consequences and suggested criteria for ecosystem management. En: Wilson, J.G. (Ed.) *Eutrophication in Irish waters*. Royal Irish Academy. Dublin. 1-15 pp.
- Kronvag, B. 1996. *Suspended sediment and nutrient loads: diffuse sources, delivery pathways, fate and management*. Ph.D. Thesis. National Environmental Reserach Institute, Denmark.
- Laubel, R.A. 2004. *Delivery of suspended sediment and associated phosphorus and heavy metals to small rural danish streams*. Ph.D. Thesis. National Environmental Research Institute. Ministry of the Environment, Denmark.
- Leinweber, P., Turner, L.B. y Meissner, R. 2002. Phosphorus. En: *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. Haygarth, P. M. y Jarvis, S.C. (Eds.). CAB. International: 29-56 pp.
- Novotny, V. 1999. Diffuse pollution from agriculture a worldwide outlook. En: *Water Science and Technology*, vol. 39, 3: 1-13 pp
- Onema, O. y Roest, C.W.J. 1998. Nitrogen and phosphorus losses from agriculture into surface water: the effects of policies and measures in The Netherlands. En: *Water Science and Technology*, vol. 37, 2: 19-30 pp.
- Sande Fouz, P. 2002. *Estudio del contenido en fósforo y sólidos en suspensión de aguas superficiales en pequeñas cuencas*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de La Coruña. 148 pp.
- Sande Fouz, P. 2005. *Transporte de sólidos en suspensión y elementos químicos asociados desde una cuenca agroforestal*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de La Coruña. 420 pp.

Sharpley, A.N., Chapra, S.C. y Wetherpohl, R. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options. En: *Journal of Environmental Quality*, 23: 437-451 pp.

Uunk, E.B.S. 1990. Impact of manure and fertiliser usage on surface waters: load, effect and control. En: *Animal manure: Problems and solutions*. Del Castillo, P. (Ed). Dutch Royal Chemical Society, s'Gravenhage. The Netherlands. 49-75 pp.