

FRACCIONES DE FÓSFORO EN EL AGUA DE DRENAJE DE UNA CUENCA AGROFORESTAL EN CONDICIONES ATLÁNTICAS

SANDE FOUZ, P., LÓPEZ MOSQUERA, B., MIRÁS AVALOS, J. M. Y VIDAL VÁZQUEZ, E.

Facultad de Ciencias. Universidade da Coruña. A Zapateira s/n. 15071 A Coruña. psande@udc.es

Resumen. Se midió el contenido en dos fracciones de fósforo diferentes en las aguas de una cuenca agroforestal de 36,3 km² de extensión drenada por el Río Valiñas (A Coruña). Se analizaron las fracciones fósforo total, asociado a los sedimentos y soluble, durante tres años sucesivos, 1999, 2000 y 2001. Se comprobó que la mayor parte de las pérdidas de fósforo total ocurría durante unos pocos eventos de precipitación intensa, durante los cuales se deben de movilizar sedimentos procedentes de diferentes fuentes, en particular de terrenos de cultivo labrados. El fósforo total exportado durante los picos de caudal contiene sobre todo fósforo asociado a los sedimentos. Durante los periodos de flujo base la concentración de fósforo disuelto en el agua de drenaje tiende a disminuir, aunque la relación entre fósforo soluble y fósforo total aumenta.

Palabras clave: contaminación difusa, eutrofización, fósforo total, fósforo soluble.

Abstract. Two different phosphorus fractions were measured in the drainage water of 36.3 km² catchment devoted to agroforestry and located at the Valiñas river (Coruña, Spain). For three successive years, 1999, 2000 and 2001 total, sedimentary and dissolved phosphorus fractions were determined. A few events of intensive precipitation are responsible for most of the losses of total phosphorus, mobilizing sediments from different source areas, mainly from recent tilled areas. The total phosphorus exported during the stormflow of these periods is mainly composed of particulate phosphorus. During base flow periods the dissolved phosphorus concentration in water was attenuated and the ratio dissolved phosphorus/total phosphorus increased.

Key words: diffuse contamination, eutrophication, total phosphorus, dissolved phosphorus.

INTRODUCCIÓN

La exportación de nutrientes de los sistemas agroforestales hacia la red de drenaje puede llegar a ser una fuente de contaminación de origen difuso o causar fenómenos como la eutrofización de los sistemas acuáticos superficiales. El fósforo (P) está considerado como el elemento que más frecuentemente limita el desarrollo de la vegetación acuática (Marien, 1997), sin embargo se admite que este elemento en cantidades relativamente bajas, supe-

rior al umbral de 20 µg/L puede causar eutrofización (Champ, 1998). Por lo tanto, el transporte de fosfatos desde el suelo a los sistemas acuáticos determina con frecuencia serias consecuencias sobre los parámetros de que depende la calidad medioambiental. La transferencia de fosfatos desde el medio terrestre al acuático, por erosión hídrica, se considera en la actualidad una amenaza para la calidad de las aguas superficiales. En la última década se han incrementado los estudios para cuantificar la contribución del P procedente de los suelos de

cultivo a la eutrofización (Sharpley y Rekolainen, 1997). Al igual que sucede con otros nutrientes se debe mantener un mínimo de contenido de P en el suelo para que la producción de los cultivos alcance niveles óptimos. Existe un umbral de P en el suelo a partir del cual el lavado del P por las aguas superficiales y subsuperficiales tiende a aumentar de forma exponencial. Para minimizar las pérdidas de P en los sistemas agrícolas se adoptan medidas basadas en estudios de la evolución de cada forma de P en el suelo y en las aguas, así como los mecanismos de transporte y el efecto de las diferentes prácticas agrícolas (Sharpley y Rekolainen, 1997). En este trabajo se presentan las concentraciones de P total, asociado a los sedimentos, y soluble, medidas durante tres años en una cuenca agroforestal localizada en la proximidad de la costa atlántica.

MATERIAL Y MÉTODOS

La cuenca estudiada, con una extensión de 36,3 km², corresponde al curso alto y medio del Río Valiñas, tributario del Río Mero en la provincia de A Coruña. El 35% del área de esta cuenca se dedica a policultivo en rotación (principalmente maíz en rotación con cereal de invierno), el 20% a pradera y el 45% restante a monte, en el que predomina el eucaliptal, siendo también frecuentes los pinares. Se tomaron manualmente 53 muestras en el año 1999, 175 en el 2000 y 131 en el 2001. Las muestras se recogieron en el cierre de la cuenca, en un único punto situado a la altura de un puente en el límite entre los Ayuntamientos de Culleredo y Cambre. El muestreo fue más frecuente en los periodos lluviosos, de modo que el desigual número de muestras en los tres años se debe principalmente a diferencias en la frecuencia e intensidad de las lluvias caídas durante cada uno. La precipitación media mensual fue de 1253 mm en 1999, 1451,5 mm en 2000 y 1115,9 mm en 2001 y se obtuvo de la estación meteorológica del aeropuerto de Al-

vedro (A Coruña). Se analizó el P total y P soluble mediante Espectrometría de Masas con Fuente de Plasma de Acoplamiento Inducido (ICP-MS). El P total se determinó después de una extracción de la fracción que forma parte de la materia en suspensión presente, en el caso del método de ICP-MS la extracción se realiza mediante digestor de microondas (Cantarero *et al.*, 2002). La determinación del P soluble se efectuó previo filtrado, usando un filtro con tamaño de poro de 0,45 µm. El P asociado a los sedimentos se determinó mediante la diferencia entre el total y el soluble. Las muestras se conservaron en nevera para reducir en lo posible la actividad bacteriana. Un parámetro importante que suele estar relacionado con el P son los sólidos en suspensión que se determinaron por el método de filtración con un tamaño de poro de 0,45 µm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En 1999 y 2000, a pesar de las diferencias de régimen hidrológico, debido a la distribución e intensidad de lluvias y al diferente caudal, y el diferente número de muestras, los datos medios de P total, P soluble y P asociado a los sedimentos no fueron significativamente diferentes, pero los valores medios de las tres fracciones en el año 2001 fueron inferiores a los anteriores. En efecto, la concentración media de P total ascendió a 126,53 µg/L, 112,79 µg/L y 66,84 µg/L en 1999, 2000 y 2001 respectivamente; la cifra media del P asociado a los sedimentos en estos tres años fue de 82,08 µg/L, 65,01 µg/L y 31,95 µg/L mientras que, para el P soluble se obtuvieron 47,79 µg/L, 47,85 µg/L y 34,93 µg/L. La cantidad de P total presentó un notable rango de oscilación, siendo las diferencias entre los máximos y mínimos de 687 µg/L, 848 µg/L y 241 µg/L en 1999, 2000 y 2001 respectivamente; para el P asociado a los sedimentos se obtuvieron rangos de 427 µg/L, 767 µg/L y 205 µg/L.

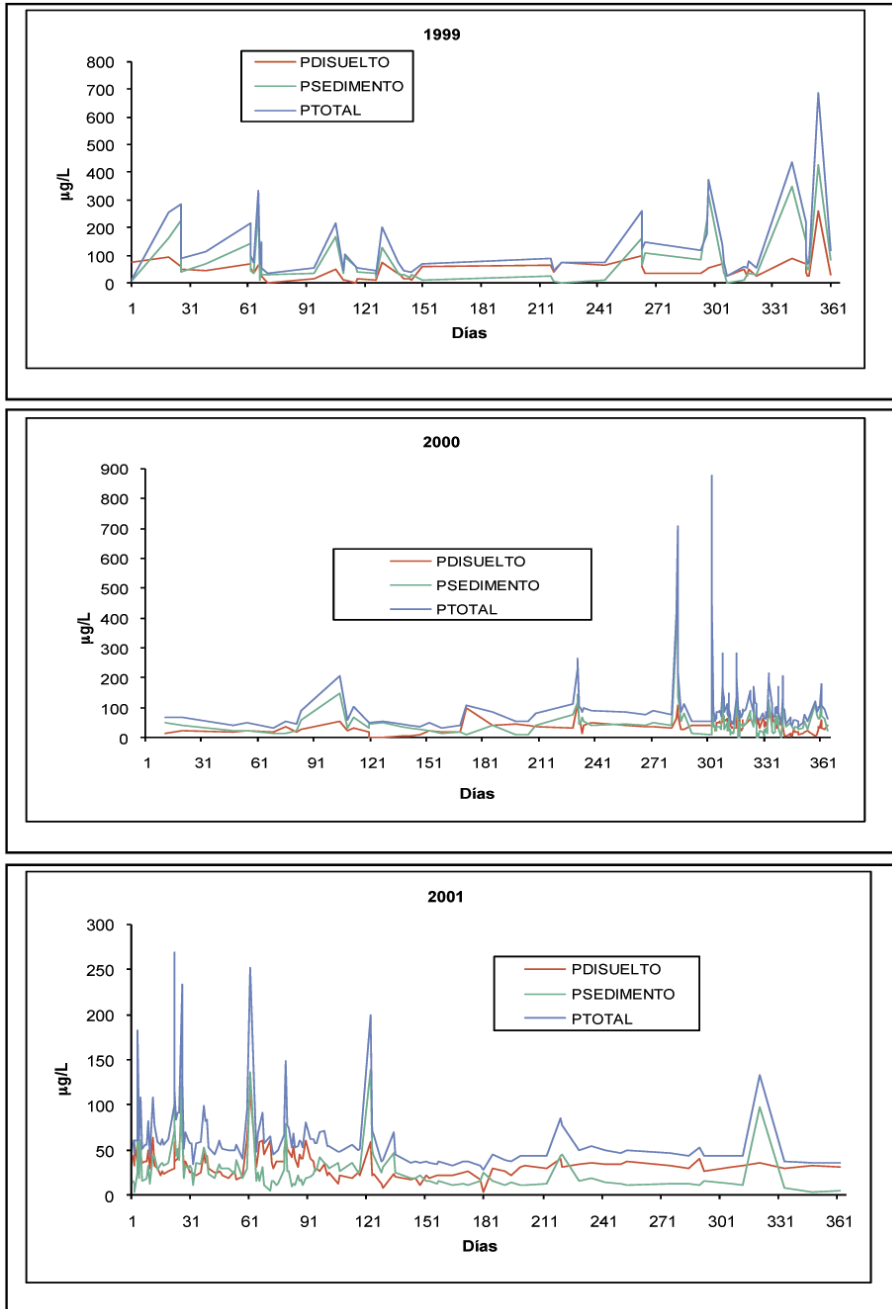


FIGURA 1. Evolución temporal de las concentraciones de P total, P soluble y P asociado a los sedimentos, en la cuenca del Río Valiñas durante tres años sucesivos.

En la Fig. 1 se presenta la evolución estacional de las tres formas de P objeto de este trabajo. Se aprecian en los sucesivos años un número limitado de eventos en que las concentraciones de P total superan los 200 $\mu\text{g/L}$. En el año 1999 se observa que existen nueve picos pronunciados durante los cuales las concentraciones de P total y asociado a los sedimentos son muy elevadas. Así, aunque la media de P total para las 53 muestras era de 126,5 $\mu\text{g/L}$, durante estas nueve ocasiones se registraron valores superiores a 200 $\mu\text{g/L}$, y en dos de los eventos las concentraciones de P total superaron incluso los 400 $\mu\text{g/L}$. Del mismo modo, aunque el valor medio del P asociado a los sedimentos es de 82,1 $\mu\text{g/L}$, en los nueve picos se midieron concentraciones superiores a 125 $\mu\text{g/L}$. Cinco de los nueve picos de concentraciones elevadas de fósforo medidos en 1999 se observaron entre los meses de enero y julio y los cuatro restantes en otoño invierno, a partir del 20 de septiembre, de modo que, durante la época estival no se registraron concentraciones elevadas de fósforo. En el año 2000 se apreciaron ocho picos con concentraciones de P total superiores a 200 $\mu\text{g/L}$, y en dos de estos picos los contenidos de P total llegaron a superar los 700 $\mu\text{g/L}$. Se observó un pico de concentraciones elevadas entre enero y julio y los siete picos restantes se produjeron a partir del mes de agosto. Por otra parte, entre octubre y diciembre de 2000 se observan numerosos eventos en que las concentraciones de P total fueron también elevadas oscilando entre 100 y 200 $\mu\text{g/L}$. Esto se debe principalmente a que el régimen de precipitaciones durante esos meses resulto ser elevado, continuando esa tendencia durante los meses de enero y febrero de 2001, de modo que el invierno 2000-2001 resulto ser muy húmedo. En el año 2001 se produjeron nueve picos con concentraciones elevadas de P total que superaron los 100 $\mu\text{g/L}$, y en cuatro de estos picos los contenidos en P total llegaron a superar los 200 $\mu\text{g/L}$. La mayoría de estos picos se observan entre enero y mayo, excepto un

pico entre noviembre y diciembre. En este caso las mayores concentraciones de P total se produjeron durante los primeros meses del año. Cantidades elevadas de P total se pueden registrar en cualquier época del año, pero están siempre asociadas a precipitaciones intensas. De las 369 muestras analizadas todas ellas superaron el umbral de 20 $\mu\text{g/L}$ de P total, en 97 se obtuvieron valores mayores de 100 $\mu\text{g/L}$ de P total y en 37 se obtuvieron valores mayores de 200 $\mu\text{g/L}$ de P total. La proporción entre P soluble y P total tiende a disminuir en periodos de caudal elevado y a aumentar, durante el estío. Todo ello pone de manifiesto la influencia de la estacionalidad sobre las concentraciones de las distintas formas de P. Esto se debe a que las concentraciones elevadas de P pueden estar relacionadas simultáneamente con distintos factores. En la cuenca estudiada hay que considerar los fenómenos de escorrentía y erosión que causarían un aumento del P asociado a los sedimentos, y la aplicación de purines y fertilizantes que suele relacionarse con el incremento del P soluble. También, es necesario considerar la removilización del P a partir de los sedimentos del cauce del río durante las crecidas y la interacción entre la carga de fondo y las materias en suspensión, es decir, las características hidrológicas de la cuenca. En periodos de precipitación elevada, los fenómenos de escorrentía y erosión asociada a ella, deben de causar un aumento en el P asociado a los sedimentos. No obstante, no siempre se puede observar una relación causa efecto que explique la magnitud del contenido de P en una época dada, es decir, contenidos elevados de P pueden estar relacionados con distintos factores. Así, el valor máximo de P soluble ascendió a 259 $\mu\text{g/L}$, cifra muy elevada, que puede estar relacionada con el vaciado de fosas sépticas y la aplicación de purines y fertilizantes.

La correlación entre las distintas formas de P se presenta en la Tabla 1, destacando la estrecha dependencia entre el P total y P asociado a los sedimentos.

TABLA 1. Coeficientes de correlación de las distintas formas de P estudiadas en la cuenca del Río Valiñas durante 1999, 2000 y 2001. (** significativo para un nivel de $p = 0,01$).

	Año 1999	Año 2000	Año 2001
$P_{\text{SOLUBLE}}/P_{\text{ASOCIADO SEDIMENTOS}}$	0,416**	0,184	0,230
$P_{\text{DISUELTO}}/P_{\text{TOTAL}}$	0,650**	0,381**	0,577**
$P_{\text{ASOCIADO SEDIEMNTOS}}/P_{\text{TOTAL}}$	0,921**	0,951**	0,874**

Cuando existe una buena relación entre variables, se podría utilizar la información proporcionada por una de ellas para predecir la segunda. Se puede comprobar que el coeficiente de correlación más elevado y significativo ($p > 0,99$) es el obtenido entre el P total y el asociado a los sedimentos, lo que confirma desde el punto de vista estadístico la estrecha dependencia de estas dos variables. Al representar el P total y el asociado a los sedimentos frente a los sólidos en suspensión se observa una mayor dispersión en los años 1999 y 2001 que en el 2000. En parte, este resultado puede estar motivado por el menor rango de sólidos en suspensión, P asociado a los sedimentos y total en 1999 y 2001 con respecto al 2000. Por otra parte, en la bibliografía se encuentran estudios que ponen de manifiesto que la relación entre sólidos y suspensión y P total o asociado a los sedimentos puede ser positiva, negativa o no existir dependencia en absoluto (Steege *et al.*, 2000; Sande Fouz y Roca Freire, 2000; Mirás Avalos, 2000). El tipo de relación entre sólidos en suspensión y fósforo dependerá del régimen hidrológico de la cuenca estudiada, así como, del tipo de aportes puntuales o difusos (Steege *et al.*, 2000). También se encontraron correlaciones muy significativas ($p > 0,99$) de los sólidos en suspensión, versus P asociado a los sedimentos y P total, lo que proporciona evidencia adicional acerca del origen erosivo de parte del P. La correlación entre P soluble y total es significativa; los coeficientes de correlación son más elevados para los años 1999 y

2001 que para 2000. Se admite que la mayor parte del P soluble procede de fuentes ajenas a la erosión, como pueden ser los vertidos de fosas sépticas y de los sistemas de saneamiento de los núcleos rurales que se localizan en el interior de la cuenca, ya que no existe una relación significativa entre P soluble y sólidos en suspensión. Además, entre el P disuelto y el asociado a los sedimentos se encontró una correlación positiva y muy significativa en 1999 que no se apreció durante 2000 y 2001.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de P total elevadas ($> 200 \mu\text{g/L}$) encontradas en el Río Valiñas están relacionadas con contenidos altos de P asociado a los sedimentos, por lo que presumiblemente se deben a fenómenos erosivos que afectan a los terrenos de cultivo, en particular a las superficies que no están protegidas por la vegetación. Contenidos altos de P soluble pueden estar relacionados con el manejo de las explotaciones ganaderas.

En los tres años estudiados, 1999, 2000 y 2001, se observa un número limitado de eventos en que las concentraciones de P total superan los $200 \mu\text{g/L}$. Estas concentraciones pueden ocurrir en cualquier época del año y siempre están asociadas a precipitaciones intensas.

Teniendo en cuenta el total de las 369 muestras analizadas durante 1999, 2000 y 2001, se obtiene una concentración media de $43,52 \mu\text{g/L}$ para el P soluble, $59,68 \mu\text{g/L}$ para el

P asociado a los sedimentos y 102,05 µg/L para el P total. Todas las muestras analizadas superan el umbral de 20 µg/L de P total y 97 de las 369 muestras superan el umbral de 100 µg/L de P total.

La proporción entre P soluble y 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 basa que en los eventos en los que crece el caudal.

REFERENCIAS

- Cantarero, A., López, M.B., Mahía, J., 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 select Irish lakes: ecological consequences and suggested criteria for ecosystem management. In: *Eutrophication in Irish waters*. Royal Irish Academy Dublin. Wilson, J.G. (ed). 1-15.
- Gibson, C.E. (1997): The dynamics of phosphorus in freshwater and marine environments. In: *Phosphorus loss from soil to water*. Cab International. Tunney, H., Carton, P. & Johnston, A.E. (eds.), 119-135.
- Marien, F. (1997): European perspective on phosphorus and agriculture. In: *Phosphorus loss from soil to water*. Cab International. Tunney, H., Carton, P. & Johnston, A.E. (eds.), 329-337.
- Mirás Avalos, J.M. (2000): Contenido en fosfatos de las aguas drenadas de cuencas de 500 a 1000 km². En: *Resúmenes del II Congreso sobre Erosión Hídrica*. A Coruña. Paz González, A y Taboada Castro, M^a.T. (eds). 66-67.
- Sande Fouz, P. y Roca Freire, A. (2000): Contenido en fosfatos de las aguas drenadas de cuencas de pequeñas dimensiones. En: *Resúmenes del II Congreso sobre Erosión Hídrica*. A Coruña. Paz González, A y Taboada Castro, M^a.T. (eds). 61-63.
- Sande, P. (2002): Estudio del contenido en fósforo y sólidos en suspensión de aguas superficiales en pequeñas cuencas. Tesis de Licenciatura. Universidade da Coruña, 148 pp.
- Sharpley, A.N. y Rekolainen, S. (1997): Phosphorus in agricultura and its environmental implications. In: *Phosphorus loss from soil to water*. Cab International. Tunney, H., Carton, P. & Johnston, A.E. (eds.), 1-53.
- Steegeen, A., Beuselink, L., Govers, G., Takken, I., Nachtergaele, J. y Poesen, J. (2000): Sediment within and sediment export from an agricultural catchment in the Belgian loess belt. In: *Gully erosion processes in the Belgian loess belt: causes and consequences*. K.U. Leuven. Verstraeten, G. (ed). 41-68.