

# Efecto de la escorrentía sobre la carga de sedimentos en suspensión y fósforo en un arroyo de cabecera de una cuenca rural (NO España)

## Effect of runoff on suspended sediment and phosphorus loading in a headwater stream of a rural catchment (NW Spain)

M.L. Rodríguez-Blanco<sup>1</sup>, M.M. Taboada-Castro,  
L. Palleiro-Suárez & M.T. Taboada-Castro

---

### RESUMEN

Se determinó la carga de sedimentos en suspensión (SS) y fósforo (P) durante eventos de lluvia-escorrentía en un arroyo de cabecera, que drena una cuenca rural ubicada en Galicia (NO España). Asimismo, se trató de conocer las principales fuentes de SS y P exportados. Se observaron acusadas diferencias en la carga de SS y P entre eventos, lo cual se asocia con el volumen de escorrentía, así como con el desarrollo de surcos y cárcavas efímeras en parcelas de cultivo bien conectadas con la red de drenaje. La carga de SS osciló entre 0,8 y 21,0 t mientras que la de P varió entre 2,5 y 20,0 kg. El fósforo particulado (PP) mostró relaciones significativas con los SS, lo que indica el origen erosivo de una parte importante de P, especialmente considerando que el PP supone más de un 80% del P exportado en cada evento.

**Palabras-clave:** cuenca rural, erosión del suelo, escorrentía, fósforo particulado, sedimentos en suspensión.

### ABSTRACT

This work examines the suspended sediment (SS) and phosphorus (P) load during rainfall-runoff events in a headwater stream which drains a rural catchment located in Galicia (NW Spain). Another objective is to know the major sources of SS and P exported. Important differences in the SS and P load between events were found, which is associated with the runoff volume, as well as to develop of rills and ephemeral gullies in cultivated fields well connected to the drainage network. The SS load ranged between 0.8 and 21.0 t, while the P load varied between 2.5 and 20.0 kg. The particulate phosphorus (PP) showed significant relationship with SS, which indicates the erosive origin of P, especially considering that PP means more 80% of P exported each event.

**Key-words:** particulate phosphorus, runoff, rural catchment, soil erosion, suspended sediment.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias, Universidad de A Coruña, A Zapateira, 15071, A Coruña, España; teresat@udc.es

## INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es uno de los problemas ambientales más serios asociados al uso agrícola. En Europa (excluyendo los países del Este) más del 17% de los suelos agrícolas se encuentran con graves problemas de erosión (Gobin *et al.*, 2003), lo cual reduce la producción y sostenibilidad agrícola. Las consecuencias de la erosión del suelo se manifiestan también fuera de él, causando por ejemplo sedimentación en los cuerpos de agua y colmatación de lagos y embalses. Los sedimentos son, también, un contaminante por su propia composición y por los elementos químicos que pueden llevar adsorbidos aumentando, entre otros, los niveles de nitrógeno y fósforo en las masas de agua ocasionando su eutrofización.

La transferencia de fósforo desde los suelos a las aguas está controlada por varios procesos (por ejemplo erosión y lixiviación) y vías hidrológicas de transporte (flujo superficial, subsuperficial y subterráneo). Varios factores a nivel de cuenca, como pendiente, proximidad a la red de drenaje y textura y estructura del suelo, junto con factores relacionados con el uso del suelo, tales como el tipo de laboreo y las aplicaciones de fertilizantes tienen su contribución en la variación espacial del patrón de pérdidas de P (Heathwaite, 1997; Heathwaite & Dils, 2000).

El fósforo puede alcanzar las aguas tanto en forma particulada como disuelta. En general, la mayor parte de las pérdidas de P en los suelos agrícolas se producen en la escorrentía superficial, excepto cuando existe un flujo preferente a través de macroporos (Simard *et al.*, 2000). La mayor parte del P procedente de los terrenos de cultivo alcanza las aguas en forma particulada, siendo por tanto desprendido y transportado por procesos erosivos (Haygarth & Jarvis, 1999; Chambers *et al.*, 2000; Hodgkinson & Withers, 2007). La escorrentía desde praderas y

terrenos forestales transporta, por lo general, pequeñas cantidades de sedimentos y está, por lo tanto, dominada por la forma disuelta (Sharpley & Rekolainen, 1997; Nash *et al.*, 2000).

Los flujos de P desde el suelo a las aguas pueden ocurrir durante todo tipo de eventos tormentosos, aunque a escala anual la mayor parte del P se transporta durante eventos de baja frecuencia y alta intensidad (Dorizio, 1998; Heathwaite & Dils, 2000; Edwards & Withers, 2007). Esto conlleva a que la mayor parte de los SS y P transportados en las cuencas tenga lugar durante eventos que, por lo general, suceden en un corto período tiempo, y por tanto, necesitan de un sistema de muestreo intensivo, lo cual es costoso y laborioso. Esto resulta todavía más laborioso en una región como Galicia, donde la sucesión de episodios de lluvia durante la estación húmeda es prácticamente continua. Todos estos inconvenientes incitaron a que la mayoría de los estudios sobre procesos de transporte de SS y P hacia las aguas se efectuaran a escala de parcela, ladera o pequeña microcuenca y en menor medida a escala de cuenca.

El objetivo de este trabajo reside en conocer la cantidad de SS y P exportados durante eventos de lluvia-escorrentía de diferente magnitud (cantidad, intensidad y duración) desde una cuenca rural a un arroyo de cabecera. Dicha cuenca es representativa en términos de climatología, uso y manejo del suelo del noroeste de España. En este trabajo también se pretende identificar las principales áreas que aportan SS y P al arroyo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Descripción de la cuenca de estudio

El estudio se efectuó en la cuenca del río Corbeira (16 km<sup>2</sup>), una pequeña cuenca de

carácter rural ubicada en las proximidades de la ciudad de A Coruña (Galicia, NO de España). La cuenca, presenta una topografía moderadamente escarpada, con una pendiente media del 19%. Las condiciones climáticas de la zona son de tipo oceánico húmedo con una temperatura media de 13°C y una precipitación media anual de 1032 mm (1983-2007). Los suelos, clasificados como *Umbrisoles* y *Cambisoles* (FAO, 2006) de textura limosa y franco limosa, se desarrollan sobre esquistos básicos pertenecientes a la formación geológica del Complejo de Ordenes (Martínez *et al.*, 1984).

Los usos del suelo consisten básicamente en forestal (65%) y agrícola, principalmente pradera y maíz. Las tierras de cultivo, que representan aproximadamente el 3,7% de la cuenca, son labradas una o dos veces por año en función de la rotación de cultivos; siendo las más extendidas maíz-cereal de invierno, maíz-barbecho y maíz-nabos. Además existen pequeñas huertas familiares en las que se produce alternancia de productos hortícolas. En lo referente a la fertilización, el procedimiento más extendido es la aplicación de abonos inorgánicos y orgánicos (purines y estiércoles) en el momento de la siembra, y después de cada corte de las praderas. En estas últimas, además se aplican purines varias veces al año, sin tener en consideración el Código de Buenas Prácticas Agrícolas (Xunta, 1999).

### Medidas de caudal y muestreo de aguas

El monitoreo a la salida de la cuenca consistió básicamente en: i) efectuar medidas de caudal en continuo y ii) tomar muestras de agua del arroyo durante eventos de escorrentía para el posterior análisis de fósforo y sedimentos en suspensión.

Para llevar a cabo las tareas descritas, se efectuaron medidas de nivel del agua a la salida de la cuenca, empleando para ello, un

sensor de presión conectado a un muestreador automático (ISCO 6712). El nivel se convirtió en caudal haciendo uso de la curva de gasto.

El muestreo de aguas se realizó automáticamente con el muestreador, el cual ha sido programado para activarse cuando el nivel de agua se incrementa 2-3cm respecto al anterior al evento.

### Análisis de laboratorio

En las muestras de agua recogidas durante los eventos se analizaron los siguientes parámetros: sedimentos en suspensión (SS), fósforo total (PT) y fósforo disuelto (PD). El fósforo particulado (PP) se obtuvo por diferencias de las dos fracciones anteriores.

Los sedimentos en suspensión se determinaron por el método gravimétrico, para lo cual se filtraron 100 ml de muestra a través de un filtro (0,45  $\mu\text{m}$ ) previamente pesado. El residuo retenido se seca a 105°C durante 24 h y posteriormente se pesa. El peso del residuo seco y el volumen de muestra proporcionan la concentración de sedimentos en suspensión ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

Las concentraciones de PT se determinaron por el método colorimétrico del ácido ascórbico (Murphy & Riley, 1962), previa digestión con persulfato amónico en placa calefactora según el método APHA (1998). El PD ( $< 0,45 \mu\text{m}$ ) fue determinado por ICP-MS.

### Estimación de la escorrentía y de la carga de SS y P durante los eventos

Los eventos de escorrentía se identificaron como incrementos en el caudal que superan en 1,5 el caudal de base al inicio de la precipitación. El hidrograma de cada crecida se separó en 2 componentes (escorrentía y flujo base) usando el procedimiento clásico de Hewlett & Hibbert (1967).

La carga de sedimentos y fósforo exportado en cada evento se calculó a partir de los registros de caudal en continuo y de las concentraciones instantáneas de SS y P. Con el propósito de conocer la influencia de la escorrentía en la carga de SS y P, así como con el fin de explicar las diferencias de sedimentos y fósforo entre eventos, se estimó la proporción de carga (de cada elemento) exportada como flujo base y como escorrentía en cada evento. Para ello, en primer lugar se estimó la concentración media de SS y P en flujo base por interpolación lineal entre las concentraciones existentes al inicio y al final del evento. Posteriormente, se estimó la carga correspondiente al flujo basal como el producto del flujo base por la concentración media de SS ó P del flujo base. Por último, la carga atribuida a la escorrentía resulta de la diferencia entre la carga total del evento y la carga correspondiente al flujo basal.

### **Estimación de las pérdidas de suelo por flujo concentrado**

Después de cada evento importante de precipitación se realizaron inspecciones visuales en la cuenca, prestando especial atención a las zonas agrícolas, con el fin de inferir las posibles áreas fuente de sedimentos y fósforo. Cuando se observó la formación de surcos y cárcavas efímeras se determinó el suelo perdido, midiendo la longitud y sección de cada uno de estos canales, así como los depósitos de sedimentos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Precipitación y escorrentía de los eventos**

En la tabla 1 se recoge una síntesis de las principales características de 5 episodios de

lluvia-escorrentía acaecidos durante el año 2005. Se observa una gran variabilidad tanto en la precipitación acumulada durante los siete días anteriores al evento (14,2-84,6 mm) como en la cantidad (18,8-51,0 mm) e intensidad (5,2-14,8 mm h<sup>-1</sup>) de lluvia que los generó. Asimismo, se aprecian diferencias en cuanto al volumen de escorrentía (0,6-2,5 mm). Además, se advierte que las relaciones entre la precipitación y escorrentía son complejas. Por ejemplo, el evento 1 con una precipitación 18,8 mm produjo un volumen de escorrentía de 1,3 mm, mientras que el evento 2 con una precipitación de 47,4 mm generó una escorrentía de 1,2 mm.

En cuanto al flujo, la mayor parte es de origen basal, excepto en el evento 2 donde el porcentaje de escorrentía (59%) supera al flujo base (41%). El predominio de flujo base se puede atribuir, en gran parte, a la abundante vegetación y a la escasa superficie impermeable (<5%), lo que dificulta la llegada rápida de la escorrentía al arroyo. Este comportamiento, típico de los ríos gallegos, se ha observado también en la cuenca del río Carballas (A Coruña), que es similar a la del río Corbeira en cuanto a tamaño, usos, tipo de suelos y condiciones climáticas (Álvarez *et al.*, 2001).

En cuanto al flujo, la mayor parte es de origen basal, excepto en el evento 2 donde el porcentaje de escorrentía (59%) supera al flujo base (41%). El predominio de flujo base se puede atribuir, en gran parte, a la abundante vegetación y a la escasa superficie impermeable (<5%), lo que dificulta la llegada rápida de la escorrentía al arroyo. Este comportamiento, típico de los ríos gallegos, se ha observado también en la cuenca del río Carballas (A Coruña), que es similar a la del río Corbeira en cuanto a tamaño, usos, tipo de suelos y condiciones climáticas (Álvarez *et al.*, 2001).

**Tabla 1-** Principales características de los eventos de precipitación-escorrentía. P: precipitación que ocasiona el evento. I<sub>30</sub>: intensidad máxima de la precipitación en 30 min. PA7: precipitación en los siete días anteriores al evento.

	Evento1 (26-28/03/05)	Evento 2 (19-20/10/05)	Evento 3 (2-3/11/05)	Evento 4 (1-3/12/05)	Evento 5 (29-30/12/05)
P (mm)	18,8	47,4	51,0	44,6	22,4
I <sub>30</sub> mm h <sup>-1</sup>	5,2	14,8	9,6	9,2	6,0
PA7 (mm)	24,4	17,8	84,6	49,2	14,2
Escorrentía (mm)	1,3	1,2	1,4	2,5	0,6
Flujo base	66	41	61	56	69
% Escorrentía	34	59	39	44	31

### Exportación de sedimentos en suspensión y fósforo

En la tabla 2 se muestra para cada evento la concentración máxima de SS y P, así como la carga total de éstos y la correspondiente al flujo de escorrentía, es decir, al flujo rápido. Se aprecian importantes diferencias entre eventos, tanto en la concentración máxima como en la carga de SS (0,8-21,0 t) y P (2,5-20,0 kg). Por otra parte, se observa que aproximadamente el 91% de la carga de SS y el 79% de la de P se asocia con la escorrentía a pesar de que, como se indicó anteriormente, existe

una mayor proporción de flujo base, lo que demuestra la importancia de los eventos en el arrastre de estos materiales. Las concentraciones y cargas más elevadas de SS y P (tabla 2) coinciden con los mayores volúmenes de escorrentía (tabla 1). Sin embargo, el evento 2, con el doble de escorrentía que el evento 5 (1,2 frente a 0,6 mm), presentó una carga de SS y P inferior a la de éste. Esto da una idea de la multitud de factores que inciden en la concentración y exportación de SS y P a escala de cuenca.

Las mayores cargas de sedimento en suspensión, con valores de 9,0 y 21,0 t para los

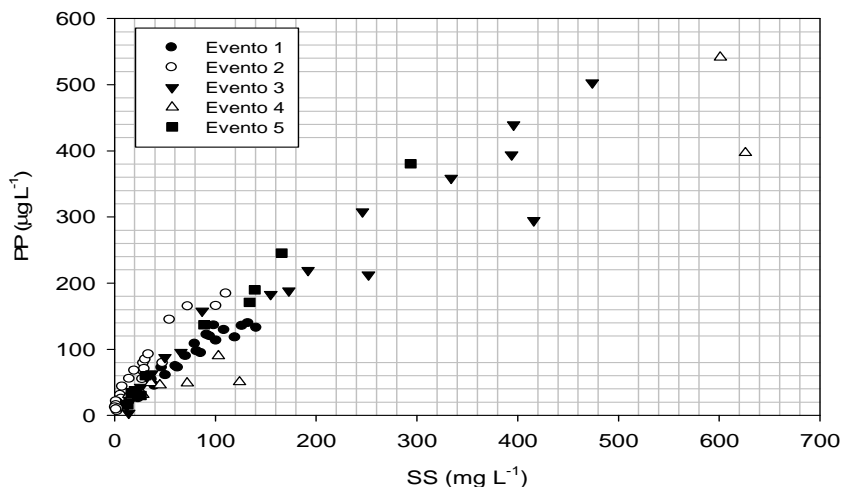
**Tabla 2-** Concentración máxima y carga de SS y P en los eventos.

	Evento1 (26-28/03/05)	Evento 2 (19-20/10/05)	Evento 3 (2-3/11/05)	Evento 4 (1-3/12/05)	Evento 5 (29-30/12/05)
SSmax (mg L <sup>-1</sup> )	141,0	111,0	474,0	626,0	294,0
Carga total SS (t)	3,3	0,8	9,0	21,0	2,8
Carga SS en escorrentía (t)	3,1	0,7	8,4	18,5	2,5
% carga en escorrentía	93	90	94	88	88
PTmax (µg L <sup>-1</sup> )	150,5	194,4	519,1	595,1	431,4
Carga total PT (kg)	4,9	2,5	11,0	20,0	4,6
Carga PT en escorrentía (kg)	3,6	2,0	9,8	15,6	3,6
% carga en escorrentía	73	78	89	78	79
PPmax (µg L <sup>-1</sup> )	139,0	183,9	503,2	541,3	380,3
Carga total PP (kg)	4,2	2,0	10,2	16,8	3,8
Carga PP en escorrentía (kg)	3,2	1,8	7,9	13,9	3,3
% de carga en escorrentía	76	88	77	83	86
% PP	89	81	81	89	90

eventos 3 y 4 respectivamente, se produjeron en los episodios de mayor escorrentía (tabla 1). En esta cuenca, la escorrentía superficial con mayor efecto sobre el arrastre de sedimentos ocurre en los terrenos de cultivo desprotegidos de vegetación que presenten costra superficial (Taboada-Castro *et al.*, 2008). Así, la elevada carga de SS de los eventos 3 y 4, respecto a los restantes, puede deberse al aporte de sedimentos procedentes de surcos y cárcavas efímeras desarrollados en una parcela encostrada y de acusada pendiente (clase 5 de la FAO), próxima al arroyo. La cantidad de sedimentos aportada por estos canales ascendió a 8,3 y 14,9 t para los eventos 3 y 4, respectivamente. La excelente conectividad de esta parcela con la red de drenaje favoreció que la práctica totalidad del suelo erosionado alcance el arroyo. Así, en el evento 3 de las 8,5 t de suelo perdido aproximadamente 0,2 t permanecieron en la parcela, y en el evento 4 quedaron retenidas 0,45 t de las 15,4 t originadas por estos canales. Teniendo en cuenta la carga de sedimentos en el arroyo durante estos eventos y la cantidad de sedimentos aportada por los

surcos y cárcavas, claramente se deduce que éstos constituyen la principal fuente de sedimento exportado.

La producción de sedimentos en el año 2005 fue de aproximadamente 5 t/km<sup>2</sup>. Este valor es del orden del encontrado por Rial *et al.* (2003) para una cuenca de Galicia similar a la del presente estudio. También se aproxima a los valores recogidos por Díaz-Fierros (1986) para algunos ríos gallegos (5-10 t/km<sup>2</sup>/año) y para ríos europeos de ámbito atlántico, siendo indicativo de una baja exportación de sedimentos en la cuenca. La carga de sedimentos de los eventos estudiados asciende a 37 t, de modo que aproximadamente la mitad de los sedimentos exportados durante el año 2005 han ocurrido en estos 5 eventos, los cuales representan menos del 3% del período anual. La elevada contribución de un reducido número de eventos a la exportación de materiales se ha constatado en diversas ocasiones, tanto en cuencas agrícolas (Steege *et al.*, 2000; Casali *et al.*, 2008) como forestales y bajo diversos ámbitos climáticos (Gallart *et al.*, 2002; Salant *et al.*, 2008).



**Figura 1-** Relación entre las concentraciones de SS y PP a escala de evento.

En lo que respecta al P, se advierte que el PP constituye la fracción mayoritaria y representa más de un 80% de la carga de P en todos los eventos (tabla 2), lo que es indicativo del importante papel de los sedimentos en el transporte de P en esta cuenca. La figura 1 muestra la relación entre SS y PP para cada evento. Se observa claramente que, en todos los eventos, existe una relación positiva y significativa entre ambas variables ( $r^2 > 0,90$ ;  $p < 0,05$ ). Estas fuertes correlaciones evidencian la afinidad del P por las partículas.

Las cargas más elevadas de P se obtuvieron en los eventos 3 (11,0 kg) y 4 (20,0 kg), durante los cuales se desarrollaron surcos y cárcavas efímeras, como se indicó anteriormente. Considerando la estrecha relación entre SS y PP, junto con la alta carga de sedimentos en estos eventos, se podría deducir que los sedimentos aportados por estos canales actuaron como vectores del P exportado al arroyo, y por tanto, podría concluirse que, en ambos casos, el P procede principalmente de los surcos y cárcavas generados en terrenos de cultivo.

Un hecho que llama la atención es la menor exportación de SS y P del evento 2 frente al evento 5 (tabla 2), aun cuando el primero generó el doble de escorrentía (tabla 1), tal como se mencionó anteriormente. Esto podría ser debido a que el evento 2 se produjo a principios de otoño cuando los terrenos de cultivo, que son las principales áreas fuente de SS en esta cuenca, todavía mantienen una buena cubierta vegetal, lo que dificulta el arrastre de sedimentos y, por consiguiente de PP al arroyo.

La exportación anual de fósforo referida al año 2005 (0,1 kg/ha año) fue inferior a la encontrada habitualmente en la bibliografía (0,2-6,0 kg/ha año) para cuencas agroforestales de Europa (Salvia-Castellví *et al.*, 2005; Hodginkson *et al.*, 2007; Kronvang *et al.*, 2007). Los cinco eventos analizados en

este estudio representan aproximadamente el 20% de la carga anual de P, lo que una vez más indica la importante contribución de un pequeño número de eventos a la exportación anual, tal como han señalado otros autores (Pionke *et al.*, 2000; Edwards & Withers, 2007).

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo revelan que en los eventos estudiados, en general, predomina el flujo base frente a la escorrentía, si bien la carga de SS y P siempre es más elevada en esta última, mostrando la importancia de los episodios de escorrentía sobre el arrastre de materiales. Se observaron acusadas diferencias entre eventos, tanto en cuanto a la concentración máxima como a la carga de SS y P. El P está dominado por la fracción particulada, la cual mantiene una correlación positiva con los SS, indicando su origen erosivo. Las mayores cargas de SS y en consecuencia PP, han ido acompañadas del desarrollo de surcos y cárcavas efímeras en parcelas de cultivo bien conectadas con la red de drenaje, lo que permite considerar a estas áreas como las principales fuentes de SS y P en la cuenca del río Corbeira.

La exportación anual de SS y P es relativamente baja y está regida por un reducido número de episodios de escorrentía que causan erosión del suelo superficial.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro de los proyectos REN2003-08143, financiado por el MEC y FEDER, y PGIDT04PXIC10309PM financiado por la Xunta de Galicia. Los autores agradecen al MEC la concesión de una beca FPI

(BES-2004-4927) a ML. Rodríguez-Blanco.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M., Varela, C., Soto, B., López, E. & Díaz-Fierros, F., 2001. Análisis de la respuesta hidrológica en una cuenca fluvial y su relación con la precipitación. En: A. González & M.T., Taboada-Castro (eds.). Avances sobre el estudio de la erosión hídrica, pp. 21-32. Publicaciones de la Universidad de A Coruña, colección de cursos, congresos y simposios.
- APHA 1998. Standar Methods for Examination of Water and Wastewater, 20<sup>th</sup> edn. Washington, DC.
- Chambers, B.J., Garwood, T.W.D. & Unwin, R.J. 2000. Controlling soil water erosion and phosphorus losses from arable land in England and Walles. *Journal of Environmental Quality*, 29: 145-150.
- Casalí, J., Gastesi, R., Álvarez-Mozos, J., De Santisteban, L.M., del Valle de Lersundi, J., Giménez, R., Larrañaga, A., Goñi, M., Agirre, U., Campo, M.A., López, J.J. & Donézar, M. 2008. Runoff, erosion, and water quality of agricultural watersheds in central Navarre (Spain). *Agriculture Water Management*, 95: 1111-1128.
- Edwards, A.C. & Withers, P.J.A. 2007. Linking phosphorus sources to impacts in different types of water body. *Soil Use and Management*, 23 (1): 133-143
- Díaz-Fierros, F. 1986. A conservación do meio físico en Galiza. Cuadernos do Seminario de Sargadelos, 47: 81-108.
- Dorioz, J.M., Cassell, E.A., Orand, A. & Eisenman, K.G. 1998. Phosphorus storage, transport and export dynamics in the Foron River watershed. *Hydrological Processes*, 12: 285-309.
- FAO. 2006. World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports. FAO, 103, Rome, Italy.
- Gallart, F., Llorens, P., Latrón, J. & Regúes, D. 2002. Hydrological processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6 (3): 527-537.
- Gobin, A., Govers, G., Johnes, R., Kirkby, M. & Kosmas, C. 2003. Assesment and Reporting on Soil Erosion. Background and Workshop Report. Technical Report 94: European Environment Agency, Copenhagen.
- Haygarth, P.M. & Jarvis, S.C. 1999. Transfer of phosphorus from agricultural soils. *Advances in Agronomy*, 66: 196-249.
- Heathwaite, A.L. 1997. Sources and pathways of phosphorus loss from agriculture. En: H. Tunney, O.T. Carton, P.C., Brooks & A.E. Johnson (eds.). Phosphorus loss from soil to water, pp. 205-223. CAB International Publishing. Wallingford. UK.
- Heathwaite, A.L. & Dils, R.M. 2000. Characterising phosphorus loss in surface and subsurface hydrological pathways. *The Science of the Total Environment*, 251/252: 523-538.
- Hewlett, J.D. & Hibbert, A.R. 1967. Factor affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: Sopper, W.E. & Lull, H.W. (eds.), *Forest Hydrology*, pp. 275-290. Pergamon, NY.
- Hodgkinson, R.A. & Withers, P.J.A. 2007. Sourcing, transport and control of phosphorus loss in two English headwater catchments. *Soil Use and Management*, 23: 92-103.
- Kronvang, B., Vagstad, N., Behrendt, H., Bøgestrand, J. & Larsen, E. 2007. Phosphorus losses at the catchment scale within Europe: an overview. *Soil Use and Management*, 23 (1): 104-116.
- Martínez J.R., Klein E., De Pablo Macía J.G. & González F. 1984. El Complejo de Ór-



- denes: Subdivisión, descripción y discusión sobre su origen. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 7: 120-139.
- Murphy, J. & Riley, J.B. 1962. A modified single solution methods for determination of phosphates in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
- Nash, D., Hannah, M., Halliwell, D. & Murdoch, C. 2000. Factors affecting phosphorus export from a pasture-based grazing system. *Journal of Environment Quality*, 29: 1160-1166.
- Pionke, H.B., Gburek, W.J. & Sharpley, A.N. 2000. Critical source area controls on water quality in an agricultural watershed located in the Chesapeake Basin. *Ecological Engineering*, 14: 325-335.
- Rial M.E., Varela C., Álvarez M.A. & Díaz-Fierros F. 2003. Aporte de sedimentos y relación de descarga de un río de la zona húmeda española. *Actas del I Simposio Nacional sobre control de la erosión y degradación del suelo*, pp. 459-462, Madrid, España.
- Salant, N.L., Hassan, M.A. & Alonso, C.V. 2008. Suspended sediment dynamics at the high and low storm flows in two small watersheds. *Hydrological Processes*, 22: 1573-1587.
- Salvia-Castellvi, M., Iffly, J.F., Borght, P.V. & Hoffman, L. 2005. Dissolved and particulate nutrient export from rural catchments: A case study of Luxembourg. *Science of the Total Environment*, 344: 51-65.
- Sharpley, A.N. & Rekolainen, S. 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In H. Tunney, O.T. Carton, P.C., Brooks & A.E. Johnson (eds.) *Phosphorus loss from soil to water*, pp. 1-53. CAB International Publishing, Wallingford, UK.
- Simard, R.R., Beauchemin, S. & Haygarth, P.M. 2000. Potential for preferential pathways of phosphorus transport. *Journal of Environmental Quality*, 29: 97-105.
- Steege A., Govers G., Nachtergaele J., Takken I., Beusenlink L. & Poesen J. 2000. Sediment export by water from an agricultural catchment in the Loam Belt of central Belgium. *Geomorphology*, 33: 25-36.
- Taboada-Castro M.M., Rodríguez-Blanco M.L. & Taboada-Castro M.T. 2008. Escorrentía y erosión en suelos agrícolas del NO España: interacción entre prácticas agrícolas y condiciones climáticas. *GeoTemas*, 10: 109-112.
- Xunta de Galicia. 1999. Código Galego de Boas Prácticas Agrarias. Santiago de Compostela.  
([www.xunta.es/conselle/ag/public/boas.htm](http://www.xunta.es/conselle/ag/public/boas.htm)).