



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

### **PÉRDIDAS DE FÓSFORO EN UNA MICROCUENCA AGRÍCOLA DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

MARÍA GUADALUPE ARES<sup>1,2,\*</sup>, JOSÉ GONZÁLEZ-CASTELAIN<sup>2</sup>, CELIO CHAGAS<sup>3</sup> & MARCELO VARNI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; <sup>2</sup>Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr E.J. Usunoff”; <sup>3</sup>Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.

\*República de Italia 780 (B7300) Azul (BA).

\*gares@faa.unicen.edu.ar

**Palabras clave:** Escurrimiento - Erosión hídrica – Conectividad en cuencas

#### **Resumen**

Este trabajo plantea como objetivos analizar la pérdida de fósforo durante eventos de lluvia-escurrimiento-erosión registrados en una microcuenca agrícola de 566 ha ubicada en la provincia de Buenos Aires, y estudiar los factores asociados a la salida de dicho nutriente. Se analizaron 13 eventos entre 2011 y 2012. Se registraron las precipitaciones y variables asociadas: intensidad máxima en 30 minutos e índice de erosividad de las precipitaciones, el volumen de escurrimiento, el caudal medio y el coeficiente de escurrimiento (CE). Se evaluaron los sólidos totales y el fósforo total (P Tot) en muestras de agua recolectadas en la fase inicial de las crecidas. Se identificaron 2 grupos de eventos en relación al P Tot producido: Grupo 1 (G1), y Grupo 2 (G2), con medianas de 0,19 y 1,7 kg de P Tot, respectivamente. Los eventos del G1 estuvieron asociados a erosión laminar, con bajo escurrimiento y pérdida de suelo. Aquellos del G2 se vincularon a erosión en surcos, con mayor escorrentía y erosión con respecto a los del G1. En el G1 predominaría el fósforo disuelto movilizado por el escurrimiento, mientras que en el G2 prevalecería el fósforo particulado fuertemente unido al suelo erosionado que se transporta con la escorrentía superficial. Asimismo, la conectividad en la microcuenca habría estado involucrada en la tendencia registrada en el G2, en relación con la formación de surcos, que habrían actuado como caminos preferenciales para la circulación del flujo superficial, del suelo y del nutriente. La relación entre P Tot y el CE mostró que dicha conectividad se habría activado desde valores cercanos a 9 % de CE, coincidentes con cambios relevantes en la salida de fósforo del sistema. Se señala la relevancia de continuar con estudios que determinen las áreas fuente del nutriente para la implementación de medidas que permitan controlar su pérdida.

#### **Introducción**

El deterioro de la calidad de las aguas superficiales por el fósforo es una problemática a escala mundial (Sharpley *et al.*, 2015), y trae como consecuencia la eutroficación de los cuerpos de agua, proceso que conduce a su degradación (Kleinman *et al.*, 2011). El



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

escurrimiento y la erosión son los principales medios de salida del fósforo de las cuencas (Sharpley *et al.*, 2008; Rodríguez-Blanco *et al.*, 2010a). De este modo, la dinámica en los procesos hidrológicos y erosivos genera variabilidad en la pérdida de este nutriente. Dicha dinámica se asocia, entre otros factores, con las características de las tormentas (duración, intensidad), con las condiciones de humedad antecedentes (Kleinman *et al.*, 2011), y con el manejo del suelo y de su cobertura (Rodríguez Blanco *et al.*, 2007). Distintos autores han estudiado las relaciones entre la salida de fósforo y la generación de escorrentía y pérdida de suelo (Puustinen *et al.*, 2004; Yuan *et al.*, 2013). En tanto, Buda *et al.* (2009) señalan la importancia de conocer las variables vinculadas con el transporte de este elemento para el manejo de la calidad del agua en cuencas. Este trabajo tiene como objetivos analizar la pérdida de fósforo durante eventos de lluvia-escurrimiento-erosión registrados en una microcuenca agrícola de la provincia de Buenos Aires, y estudiar los factores asociados a la salida de dicho nutriente. El área considerada en este trabajo se ha monitoreado desde el año 2011, y no cuenta con investigaciones previas que discutan la dinámica del fósforo durante eventos de distinta magnitud.

### **Metodología**

#### **Área de estudio**

El área de estudio corresponde a una microcuenca perteneciente a la subcuenca del arroyo Videla, tributario del arroyo del Azul, ubicada en la zona central de la provincia de Buenos Aires. De acuerdo con su geomorfología, está situada en el área de afloramientos rocosos de la cuenca superior del arroyo del Azul, que incluye divisorias de aguas y valles fluviales (Zárate & Mehl, 2010). Su superficie es de 566 ha y su pendiente media de 3%, con sectores que pueden superar el 10% de pendiente y otros en los que puede ser menor que 1%. De acuerdo con la cartografía de suelos existente (INTA, 1992), predominan los Argiudoles típicos (67,9%) y Hapludoles y Argiudoles líticos (27,6%), mientras que el 4,5% de la superficie corresponde a los suelos con capacidad de drenaje reducida, cercanos al cauce principal de la microcuenca. En general, los suelos tienen alta estabilidad estructural y abundantes macroporos debido a su textura superficial franca y su alto contenido de materia orgánica (6,6 %). Asimismo, los suelos están bien provistos de fósforo (entre 20 y 25 ppm), según lo que indican los resultados de laboratorio obtenidos a través del método de extracción de Bray y Kurtz I (Bray & Kurtz, 1945). Dada la alta productividad de sus tierras, en la microcuenca tienen lugar actividades agrícolas, que se realizan bajo siembra directa.

#### **Registros de precipitación y cálculo de las variables asociadas**

En este trabajo se emplearon los datos de las lluvias registradas cada 10 minutos por la estación meteorológica “Cerro del Águila”, que pertenece a un sistema de alerta contra inundaciones de la ciudad de Azul. Dicha estación se encuentra situada a 5 km del punto de cierre de la microcuenca en estudio y posee un pluviómetro construido y



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

dispuesto según las normas de la Organización Meteorológica Mundial, que registra la lluvia con una precisión de 0,20 mm a través de un sistema de cangilones.

Se calcularon la precipitación total (P), la intensidad máxima en 30 minutos ( $I_{30}$ ), y el producto  $EI_{30}$  de las lluvias asociadas a las crecidas de las cuales se obtuvieron muestras de agua de escorrentía durante los años 2011 y 2012. Para el cálculo del índice  $EI_{30}$ , se determinó la energía cinética total de la precipitación (E). Se consideró la intensidad correspondiente a cada lectura de 10 minutos, y se estimó la energía cinética de cada intervalo, según la relación matemática establecida por Wischmeier & Smith (1978)

$$e = 0,119 + 0,0873 \log_{10}(i)(1)$$

donde  $e$  = energía cinética del intervalo, en  $(MJ (ha \text{ mm})^{-1})$ ,  $i$  = intensidad de la lluvia, en  $mm \text{ h}^{-1}$ . La energía cinética total de la precipitación se obtuvo a partir de la sumatoria de las energías individuales de los intervalos considerados.

Por otra parte, la intensidad máxima en 30 minutos se estimó a través de la máxima precipitación caída en intervalos variables de 30 minutos. Con estos datos se calculó finalmente el producto  $EI_{30}$  correspondientes a las tormentas.

Asimismo, se calculó la lluvia de los 5 días previos de cada evento ( $P_{5d \text{ prev}}$ , mm), variable que fue utilizada para evaluar la humedad previa de las crecidas analizadas.

### **Registros de escurrimiento y cálculo de las variables asociadas**

Para este estudio se consideró el volumen escurrido correspondiente al período de recolección de la muestra de agua y sedimentos de 1,5 horas ( $Esc$ ,  $m^3$ ), el caudal promedio durante el mismo período ( $Q_m$ ,  $m^3 \text{ s}^{-1}$ ) y el coeficiente de escurrimiento del evento de crecida ( $CE$ , %). Este último fue calculado a partir de la relación porcentual entre el escurrimiento superficial ( $E$ , mm) y la precipitación total del evento, según la Ecuación (2):

$$CE = \frac{E}{P} * 100 (2)$$

Estas variables se obtuvieron a partir de los datos de escurrimiento registrados entre 2011 y 2012, con un limnógrafo con sensor de presión ubicado en la estación de monitoreo instalada a la salida de la microcuenca. El nivel de agua se midió cada 30 minutos y se transformó en caudal empleando la curva altura-caudal de la sección obtenida a través de aforos realizados con molinete hidrométrico. Para este estudio se analizaron 13 crecidas para las cuales se obtuvieron muestras de agua de escurrimiento superficial y se realizaron determinaciones químicas de fósforo total.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

### **Recolección de muestras de agua en las crecidas. Medición de los sedimentos presentes en el agua de escorrentía**

Los muestreos de agua de escorrentía durante las crecidas se realizaron en el punto de cierre del área de estudio a través de un muestreador automático provisto de una bomba de succión. El dispositivo posee dos sensores que activan el inicio de la recolección cuando toman contacto con el agua de la crecida transportada por el arroyo. Dichos sensores se ubicaron para que el muestreo se produzca cuando el nivel del curso de agua alcanza 0,3 m desde el fondo del cauce, por lo que ingresaron en el análisis las crecidas que igualaron o superaron ese nivel. El nivel se adoptó con el criterio de obtener muestras de agua de una cantidad razonable de eventos de magnitud significativa para esta microcuenca. Se realizó un muestreo compuesto, en el cual la bomba del equipo fue programada para realizar la recolección de una muestra constituida por submuestras distribuidas en el tiempo. Ello permite obtener un valor de concentración promedio en el período de recolección, que se establece a través del intervalo de extracción y del volumen de la submuestra. Para este estudio se programó el equipo de manera tal que el muestreo se llevó a cabo durante 1,5 horas, con el objetivo de obtener datos de la evolución de la producción de sedimentos en la fase inicial de la crecida. Las muestras se almacenaban automáticamente en una botella con una capacidad de 3,8 litros, ubicada dentro del equipo. Una vez en laboratorio, cada muestra se agitó, se tomó una alícuota de 250 cm<sup>3</sup> y se secó en estufa a temperatura de 60°C hasta peso constante, según ASTM D3977-97 (2007). La determinación se realizó por duplicado. A partir de estos datos se calculó la concentración de sólidos suspendidos (CSS) en la muestra, expresada en g L<sup>-1</sup>. Se multiplicaron los escurrimientos de 30 minutos entre el inicio y el fin del muestreo por el valor de CSS. Se calculó la sumatoria de estos productos de cada intervalo para obtener la masa de sólidos totales correspondientes al período de recolección (SólTot), expresados en kg.

### **Determinación de fósforo total en las muestras de escurrimiento**

La muestra obtenida por el dispositivo automático se agitó y se separó una alícuota de 500 ml en envase de vidrio. Dicha alícuota se fijó con 0,5 ml de ácido clorhídrico concentrado, y fue refrigerada hasta el momento del análisis. En laboratorio, se determinó el fósforo total (expresado en mg L<sup>-1</sup>) mediante el método del ácido ascórbico (APHA, AWWA & WEF, 2005). La masa de fósforo total obtenida durante el período de recolección (P Tot, kg) se estimó de igual forma que la masa de sólidos totales: se multiplicaron los escurrimientos de los intervalos de 30 minutos durante el muestreo y el valor de concentración de fósforo, y luego se calculó la sumatoria de esos productos para obtener la variable mencionada.

### **Análisis estadístico**

Se calcularon los valores máximos, mínimos y las medianas de las variables estudiadas, y se analizaron las correlaciones no paramétricas entre el P Tot y P, I<sub>30</sub>, EI<sub>30</sub>, Esc, Qm, CE, P 5d prev y SólTot. Asimismo, se aplicó la prueba no paramétrica de U de Mann-



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

---

Whitney de comparación de muestras independientes para identificar diferencias entre grupos de eventos identificados en función del P Tot producido.

### Resultados y Discusión

Los eventos analizados se registraron en dos años contrastantes en cuanto a su pluviometría: el año 2011 con un total de 807 mm y el año 2012 con 1351 mm. El valor medio de precipitación anual correspondiente a la estación Monasterio Trapense para el período 1972-2012, la más cercana al área de estudio con datos confiables (Varni & Custodio, 2013), fue de 905 mm. Es decir que las lluvias de 2011 fueron 11 % menores que el promedio anual y las correspondientes a 2012 superaron 33 % dicho promedio.

A modo de resumen, la Tabla 1 muestra las medianas, mínimos y máximos de las variables consideradas en este trabajo. Los eventos considerados presentaron variabilidad, y como ejemplo de ello se menciona el rango de la precipitación, que fue de 118,6 mm, mientras que el rango del CE de 52,8%. De los 13 eventos estudiados, el 75% presentó un valor inferior a 1,7 kg de P Tot durante el período muestreado, y solo en 3 casos se superó tal valor. Esto coincide con lo que señalan distintos autores en cuanto a que las mayores pérdidas de este nutriente se producen en una cantidad de eventos reducida (Buda *et al.*, 2009; Rodríguez-Blanco *et al.*, 2010a), lo mismo que indican otros investigadores con respecto a los sólidos totales (González-Hidalgo *et al.*, 2007; NuFang *et al.*, 2011).

La Figura 1 muestra en detalle los valores de P registrados durante las crecidas consideradas. A partir de su análisis se pueden identificar dos grupos de eventos con valores de fósforo total contrastante. El primero de ellos (Grupo 1), formado por los eventos 1 a 6, y el segundo (Grupo 2) por los eventos 7 a 13. Los valores máximos, mínimos y las medianas de P Tot y de las demás variables consideradas correspondientes a cada grupo se presentan en la Tabla 2.

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Tabla 1. Medidas resumen de las variables consideradas (mediana, máximo, mínimo) en el análisis en la microcuenca bajo estudio. P: Precipitación;  $I_{30}$ : Intensidad máxima de la precipitación total del evento en 30 minutos;  $EI_{30}$ : índice de erosividad de la precipitación; Esc 1,5 h: volumen de escurrimiento superficial registrado durante el período de muestreo; Qm 1,5 h: Caudal promedio calculado para el período de muestreo; CE: Coeficiente de escurrimiento del evento; P 5 d prev: Precipitación de los 5 días previos al evento; SólTot: Sólidos totales calculados para el período de muestreo; P Tot: fósforo total producido durante el período muestreado.

Variable	Mediana	Mínimo	Máximo
P (mm)	38,6	17,8	136,4
$I_{30}$ (mm h <sup>-1</sup> )	25,2	7,2	57,2
$EI_{30}$ (MJ mm (ha h) <sup>-1</sup> )	213	41,6	1030,3
Esc (m <sup>3</sup> )	1347	758,6	11022,8
Qm (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	0,2	0,1	2,1
CE (%)	8,7	1,0	53,8
P 5d prev (mm)	9	0	77,8
SólTot (kg)	652,8	326,6	45634,3
P Tot (kg)	0,6	0,02	9,9

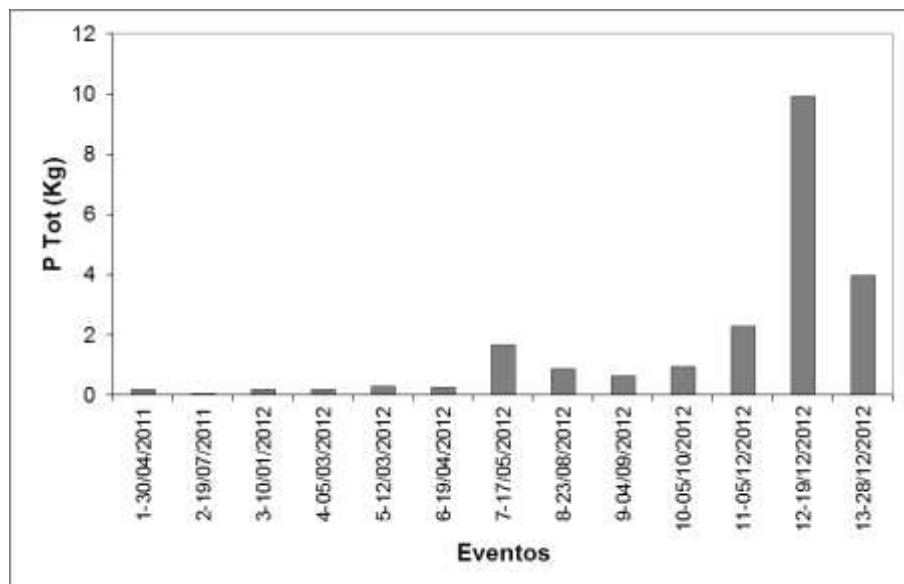


Figura 1. Valores de fósforo total (P Tot) en las 13 crecidas analizadas entre 2011 y 2012 en la microcuenca bajo estudio.

El análisis de los valores de dicha tabla muestra que el Grupo 2 presentó mayor mediana de P Tot con respecto al Grupo 1. La misma tendencia se dio con respecto a

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

las variables Esc 1,5 h; Qm; CE; P 5d prev; CSS y SólTot. Por el contrario, las medianas de las variables asociadas a la precipitación del Grupo 1 superaron a las del Grupo 2. Esto indicaría que, para esos casos con humedad antecedente menor, fueron necesarias lluvias de mayor magnitud, intensidad y erosividad para generar escurrimiento, pérdida de suelo y nutrientes.

Asimismo, el test de comparación de Mann Whitney indicó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ambos grupos en la variable P Tot, en aquellas asociadas al escurrimiento (Esc, Qm, CE), y en los SólTot. Sin embargo, las variables de la precipitación y la lluvia de los 5 días previos no registraron diferencias significativas entre los Grupos 1 y 2 ( $p > 0,05$ ).

Tabla 2. Medidas resumen de las variables consideradas (mediana, máximo, mínimo) correspondientes a los dos grupos de eventos diferenciados según el fósforo total producido (P Tot) durante el período muestreado (1,5 h) en la microcuenca bajo estudio. P: Precipitación;  $I_{30}$ : Intensidad máxima de la precipitación total del evento en 30 minutos;  $EI_{30}$ : índice de erosividad de la precipitación; Esc: volumen de escurrimiento superficial registrado durante el período de muestreo; Qm: Caudal promedio calculado para el período de muestreo; CE: Coeficiente de escurrimiento del evento; P 5 d prev: Precipitación de los 5 días previos al evento; SólTot: Sólidos totales calculados para el período de muestreo.

Variable	P (mm)	$I_{30}$ (mm h <sup>-1</sup> )	$EI_{30}$ (MJ mm (ha h) <sup>-1</sup> )	Esc (m <sup>3</sup> )	Qm (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	CE (%)	P 5d prev (mm)	SólTot (kg)	P Tot (kg)
<b>Grupo 1</b>									
Mínimo	17,8	7,2	49	758,6	0,14	1	0,0	326,6	0,02
Máximo	65,4	42	536,8	1.359,9	0,2	3,4	17,6	652,8	0,27
Mediana	50,2	26,4	266,4	978,5	0,2	2,1	3,4	473	0,19
<b>Grupo 2</b>									
Mínimo	23,6	8,4	41,6	1.338,2	0,2	8,7	0,2	619,6	0,6
Máximo	136,4	57,2	1.030,3	11.022,8	2,1	53,8	77,8	45.634,3	9,9
Mediana	30	18	213	1.740,8	0,3	24,6	23,2	1.949,7	1,7

De acuerdo con lo que indican análisis previos realizados en el área de estudio (Ares *et al.*, 2014) los eventos correspondientes al Grupo 1 fueron asociados a erosión laminar. En tanto, el primer evento del Grupo 2 fue vinculado a erosión en surcos y este tipo de erosión fue predominante desde esa fecha (17/05/2012), con un total de 5 de los 7 casos del Grupo 2 con formación de surcos en el área de estudio (eventos 8, 11, 12 y 13). Las diferencias en las variables del escurrimiento y en los sólidos totales como también en el fósforo total podrían vincularse a los tipos de erosión predominantes en ambos grupos. Ares *et al.* (2014) identificaron menores valores de escurrimiento y pérdida de suelo para eventos de erosión laminar que para los asociados a erosión en

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

surcos. Asimismo, estos autores reconocieron el rol fundamental que presentó el escurrimiento y su energía en la generación de sedimentos en los eventos en surcos, en tanto que la energía de las lluvias fue el factor principalmente asociado al desprendimiento del suelo en los casos de erosión laminar.

Se analizaron las correlaciones entre el P Tot y las variables consideradas, separadamente para los dos grupos. Estos resultados se muestran en la Tabla 3, e indican que en el Grupo 1 el P Tot sólo presentó correlación significativa con la variable CE. Sin embargo, en el Grupo 2, el P Tot se correlacionó de manera significativa con  $I_{30}$ , Esc, Qm y con los SólTot.

Tabla 3. Correlaciones de Spearman entre el fósforo total (P Tot, kg) y las variables consideradas en el análisis. Las correlaciones significativas ( $p < 0,05$ ) se indican en negrita cursiva. P: Precipitación (mm);  $I_{30}$ : Intensidad máxima de la precipitación total del evento en 30 minutos ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $EI_{30}$ : índice de erosividad de la precipitación ( $\text{MJ mm} (\text{ha h})^{-1}$ ); Esc: escurrimiento superficial registrado durante el período de muestreo ( $\text{m}^3$ ); Qm: Caudal promedio calculado para el período de muestreo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ); CE: Coeficiente de escurrimiento del evento (%); P 5d prev: Precipitación de los 5 días previos al evento (mm); SólTot: Sólidos totales calculados para el período de muestreo (kg).

Variables	P	$I_{30}$	$EI_{30}$	Esc	Qm	CE	P 5d prev	SólTot	P Tot
<i>Grupo 1</i>									
P Tot	-0,43	0,31	-0,03	-0,14	-0,14	<b>0,89</b>	0,75	0,14	<b>1,00</b>
<i>Grupo 2</i>									
P Tot	-0,21	<b>0,93</b>	0,50	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	0,64	0,21	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

El escurrimiento y la erosión son los principales medios de salida del fósforo de las cuencas (Sharpley *et al.*, 1994; Hansen *et al.*, 2002). El fósforo disuelto es la forma del nutriente que se moviliza de manera predominante en el agua de escurrimiento (Buda *et al.*, 2009), mientras que el fósforo particulado también se transporta por medio del escurrimiento que lleva las partículas de suelo erosionadas a las cuales el fósforo está fuertemente unido (Girmay *et al.*, 2009). Para este caso de estudio, esto último quedaría de manifiesto a través de las correlaciones entre los sólidos totales y el fósforo total y entre este último y las variables del escurrimiento correspondientes al Grupo 2. A su vez, la correlación entre la  $I_{30}$  y el P Tot medido se asocia a la relevancia que posee dicha intensidad en la desagregación del suelo al cual está unido este nutriente, ya que considera el incremento en la eficiencia en el desprendimiento asociada al escurrimiento por lluvias que superan la capacidad de infiltración de los suelos (van Dijk *et al.*, 2002).



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

Los eventos reunidos en el Grupo 1 se caracterizaron por una menor cantidad de sólidos totales, y de acuerdo con McDowell *et al.* (2001), en estos casos sería predominante el P disuelto movilizado por el escurrimiento. En este grupo, solamente se registró correlación significativa con una de las variables vinculadas a la escorrentía, el CE, mientras que, de acuerdo con lo señalado, no se registró una relación estadísticamente significativa con los sólidos totales.

Otro factor que habría estado involucrado en la generación de la tendencia registrada en cuanto a la salida de P es la conectividad en la microcuenca. El concepto de conectividad ha sido incorporado recientemente en hidrología y geomorfología para describir el movimiento de las aguas, los sedimentos y los nutrientes entre distintos sectores de las cuencas (Buda *et al.*, 2009; Brackenet *et al.*, 2015). La erosión puede tener un rol importante en acoplar las pendientes y los cauces, por medio de la formación de surcos y cárcavas que actúan como vías, por lo que se incrementa la salida de agua, sedimentos y elementos químicos asociados (Bracken & Croke, 2007; Senet *et al.* 2010; Rodríguez-Blanco *et al.*, 2010b). En este caso, de acuerdo con lo estudiado por Ares *et al.* (2015), la formación de surcos habría presentado un rol fundamental en incrementar la salida de agua y sedimentos en la microcuenca. Esos autores señalaron la permanencia de los surcos durante el período en el cual se dieron los eventos 7 a 13, lo que estuvo favorecido por escasos cambios en la cobertura vegetal, que puede actuar como una barrera para la conectividad (Borselli *et al.*, 2008). El rastrojo de soja, que aporta poca rugosidad a la superficie, ocupaba aproximadamente la mitad del área de la cuenca. Otros residuos de maíz, trigo o cebada se encontraban en el área restante, mientras que el cultivo de cebada cubría una superficie menor que el 20 %. Por su parte, los cultivos de verano se encontraban en el inicio de su crecimiento en el momento de las lluvias. De este modo, los surcos habrían actuado como caminos preferenciales para la salida de agua, sedimentos y nutrientes durante este período, lo que habría contribuido a la generación de la respuesta a la salida de P registrada.

Por otra parte, Croke *et al.* (2013) señalan que la conectividad se activa cuando se superan umbrales de estabilidad. En este caso, el análisis de la relación entre el CE de la crecida y el P total correspondiente al período de muestreo (Figura 2) sería indicativo de posibles cambios en la resiliencia del sistema en cuanto a su capacidad para regular la salida del nutriente. Así, sería posible establecer que a partir de valores cercanos a 9 % de CE se darían cambios relevantes en la salida de P del sistema, lo cual está dado por los eventos identificados dentro del Grupo 2. El reconocimiento de estos valores resulta de importancia al momento del diseño de prácticas de conservación de agua, suelo y nutrientes en cuencas.

## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

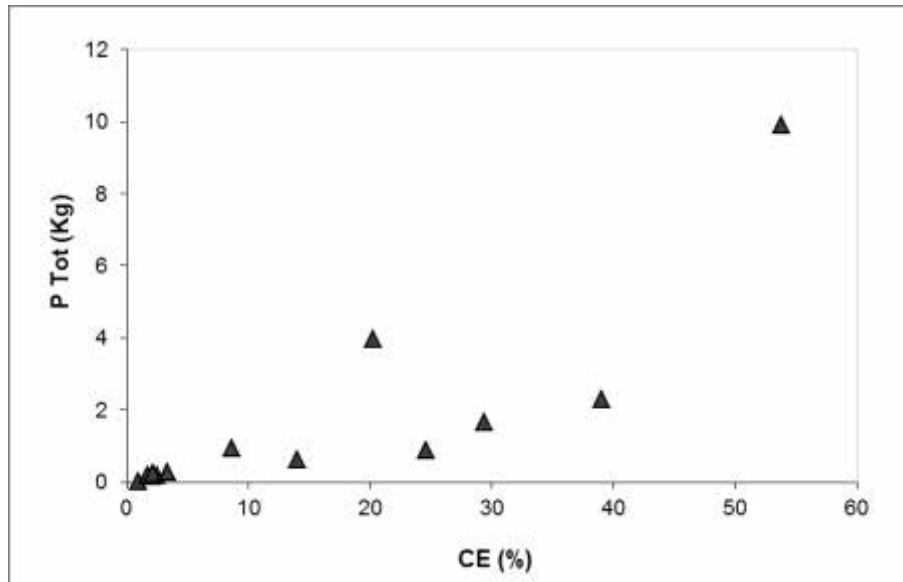


Figura 2. Relación entre el fósforo total (P Tot) obtenido durante 1,5 h de muestreo y el coeficiente de escurrimiento (CE). Datos correspondientes a los 13 eventos estudiados en la microcuenca bajo análisis.

Este es el primer trabajo realizado en una microcuenca agrícola del arroyo Videla, en la provincia de Buenos Aires, cuyo análisis se centra en el estudio de la pérdida de fósforo en crecidas de diferente magnitud, y de los factores asociados a la salida del nutriente. Se destaca el rol que presentaron los eventos erosivos más importantes en la pérdida de fósforo. Tales eventos se vincularon al tipo de erosión en surcos, los que habrían actuado como caminos preferenciales para el transporte del agua, del suelo y del fósforo. Finalmente, se señala la relevancia de continuar con otros estudios que determinen las áreas fuente de fósforo para la implementación de medidas de control de la salida del nutriente.

### Agradecimientos

Este trabajo fue financiado parcialmente por los proyectos UBACyT 709 y 937 (período 2011-2014) y por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Se agradece a Ing. D. Arias, Lic. F. Altolaquirre y Téc. N. De Líbano por su colaboración en el procesamiento de las muestras de agua de escurrimiento y por las determinaciones químicas.

### Bibliografía

APHA, AWWA & WEF. 2005. Phosphorus. En: AD Eaton, LS Clescer, EW Rice&AE Greenberg (eds). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21°



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

edn.Pp. 4.146-4.162. American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Association.

Ares, MG; MVarini & C Chagas. 2014. Erosión hídrica en una microcuenca agrícola bajo siembra directa del centro de la provincia de Buenos Aires. *Cienc. suelo* 32(2): 259-270.

Ares, MG; F Bongiorno; M Holzman; C Chagas; M Varini & I Entraigas. 2015. Water erosion and connectivity analysis during a year with high precipitations in a watershed of Argentina. *Hydrology Research*. En prensa.

ASTM Standard D3977-97.2007. Test methods for determining sediment concentration in water samples. ASTM International, USA.

Borselli, L; P Cassi & DTorri. 2008. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *Catena* 75: 268-277.

Bracken, LJ & C Croke. 2007. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. *Hydrol.Process.* 21: 1749-1763.

Bracken, LJ; L Turnbull; J Wainwright & P Bogaart. 2015. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surf.Process.Landf.* 40(2): 177-188.

Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.

Buda, AR; PJA Kleinman; MS Srinivasan; RB Bryant & GW Feyereisen. 2009. Effects of hydrology and field management on phosphorus transport in surface runoff. *J. Environ. Qual.* 38: 2273-2284.

Croke, J; C Fryirs & C Thompson. 2013. Channel-floodplain connectivity during an extreme flood event: implications for sediment erosion, deposition, and delivery. *Earth Surf.Process.Landf.* 38: 1444-1456.

Girmay, G; BR Singh; J Nyssen & T Borrosen. 2009. Runoff and sediment-associated nutrient losses under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia. *J Hydrol* 376:70-80.

González-Hidalgo, JC; JL Peña-Monné & M de Luis. 2007. A review of daily soil erosion in Western Mediterranean areas. *Catena* 71: 193-199.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

Hansen, NC; TC Daniel; AN Sharpley & JL Lemunyon. 2002. The fate and transport of phosphorus in agricultural systems. *J. SoilWaterConserv.* 57(6):408-417.

INTA. 1992. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3760-22, Chillar.

Kleinman, PJA; AN Sharpley; RW McDowell; DN Flaten; AR Buda; L Tao; L Bergstrom & Q Zhu. 2011. Managing agricultural phosphorus for water quality protection: principles for progress. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 84: 215-227.

McDowell, RW; ANSharpley; LM Condrón; PM Haygarth & PC Brookes. 2001. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. *Nutr.Cycl.Agroecosys.* 59: 269-284.

Nu-Fang, F; S Zhi-Hua; L Lu & J Cheng. 2011. Rainfall, runoff, and suspended sediment delivery relationships in a small agricultural watershed of the Three Gorges area, China. *Geomorphology* 135: 158-166.

Puustinen M; J Koskiaho & K Peltonen. 2004. Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agr.Ecosyst. Environ* 105(4): 565-579.

Sen, S; P Srivastava; JH Dane; KH Yoo & JN Shaw. 2010. Spatial-temporal variability and hydrologic connectivity of runoff generation areas in a North Alabama pasture-implications for phosphorus transport. *Hydrol. Process.* 24: 342-356.

Rodríguez-Blanco, ML; MM Taboada-Castro & MT Taboada-Castro. 2007. Contribución de surcos y cárcavas efímeras a la producción de sedimentos y fósforo en una cuenca agroforestal. *Edafología* 14: 49-54.

Rodríguez-Blanco, ML;MM Taboada-Castro;L Palleiro-Suárez & MT Taboada-Castro. 2010a. Efecto de la escorrentía sobre la carga de sedimentos en suspensión y fósforo en un arroyo de cabecera de una cuenca rural (NO España). *Revista de Ciencias Agrarias*, 33(1): 329-337.

Rodríguez-Blanco, ML; MM Taboada-Castro & MT Taboada-Castro. 2010b. Sources and sediment yield from a rural catchment in humid temperate environment, northwest Spain. *Earth Surf. Process. Landf.* 35: 272-277.

Sharpley, AN; SC Chapra; R Wedephol; JT Sims; TC Daniels & KR Reddy.1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *J. Environ. Qual.* 23(3): 437-451.



## XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”*

*Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016*

---

Sharpley, AN; PJA Kleinman; AL Heathwaite; WJ Gburek; GJ Folmar & JP Schmidt. 2008. Phosphorus loss from an agricultural watershed as a function of storm size. *Environ. Qual.* 37:362-368.

Sharpley, AN; L Bergström; H Aronsson; M Bechmann; CH Bolster; K Börling, F Djodjic; HP Jarvie; OF Schoumans; C Stamm; KS Tonderski, B Ulén; R Uusitalo & PJA Withers. 2015. Future agriculture with minimized phosphorus losses to waters: Research needs and direction. *AMBIO* 44(2):S163-S179.

VanDijk, AI; LA Bruijnzeel & CJ Rosewell. 2002. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *J Hydrol* 261: 1-23.

Varni, M & E Custodio. 2013. Estimación de la recarga al acuífero del Azul: 1. Análisis de las características climáticas. En: N. González et al. (eds.). *Agua subterránea recurso estratégico*. Vol. 1. 1ra edn. Pp. 31-37. EDULP.

Wischmeier, WH & DD Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Handbook 537, USDA-ARS.

Yuan, Y; MA Locke; RL Bingner & RA Rebich. 2013. Phosphorus losses from agricultural watersheds in the Mississippi Delta. *J. Environ. Manage.* 115:14-20.

Zárate, M & A Mehl. 2010. Geología y geomorfología de la Cuenca del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. En: M. Varni et al. (eds.). *Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en zona de llanuras*. Vol 1. 1ra edn. Pp. 65-78. Editorial Martín.