

# Producción de sedimentos y nutrientes en dos cuencas agrícola-ganaderas del centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina)

*José Gonzalez Castelain<sup>1</sup> y Fabio Peluso<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Italia 780 Campus Universitario. (7300) Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

Mail de contacto: josegc@faa.unicen.edu.ar

## RESUMEN

Se utilizaron 22 muestras obtenidas entre febrero de 2013 y marzo de 2014 para evaluar la producción de sedimentos y nutrientes en dos cuencas agrícola-ganaderas del centro de la provincia de Buenos Aires. Se midió la Concentración de Sólidos Suspendidos (CSS) por gravimetría; la fracción gruesa por sedimentación en 48-72hs, y la fracción fina por filtración del sobrenadante por fibra de vidrio (capacidad de retención: 0,5 $\mu$ m).

Las muestras del arroyo Videla (135km<sup>2</sup>) fueron tomadas con caudales entre 0,27 y 1,10m<sup>3</sup>/s. La CSS media fue de 28g/m<sup>3</sup>, y el caudal sólido medio fue de 1280kg/día, siendo el 95% material grueso. La producción media de fósforo y nitrógeno fue de 4,43 y 239kg/día respectivamente, el 88% en forma de nitrato.

Las muestras del arroyo Santa Catalina (121km<sup>2</sup>) fueron tomadas con caudales entre 0,09 y 0,61m<sup>3</sup>/s. La CSS media fue de 93g/m<sup>3</sup>, y el caudal sólido medio fue de 2118kg/día, siendo el 90% material grueso. La producción media de fósforo y nitrógeno fueron de 7,09 y 78kg/día respectivamente, el 69% en forma de nitrato.

Se observaron diferencias significativas en la CSS, y la concentración de fósforo y nitrógeno entre ambas cuencas ( $\alpha > 0,95$ ; test de Wilcoxon).

**Palabras clave:** sólidos suspendidos, fósforo, nitrógeno.

## ABSTRACT

Twenty two samples collected between February 2013 and March 2014 were used to evaluate the production of sediments and nutrients of two basins located in the center of Buenos Aires province. Total Suspended Solids (TSS) was measured by gravimetry; the coarse fraction by sedimentation on 48-72 hours, and the fine fraction by filtering the supernatant through glass fiber filter (0,5 $\mu$ m retention capacity).

Samples from Videla stream (135km<sup>2</sup>) were collected during 0,27 to 1,10m<sup>3</sup>/s water flowrate. Average TSS was 28g/m<sup>3</sup>, and the average solid load was 1280kg/day, 95% coarser material. Average production of phosphorus and nitrogen were 4,43 and 239kg/day respectively, 88% as nitrate.

Samples from Santa Catalina stream (121km<sup>2</sup>) were collected during 0,09 to 0,61m<sup>3</sup>/s water flowrate. Average TSS was 93g/m<sup>3</sup>, and the average solid load was 2118kg/day, 90% as coarser material. Average production of phosphorus and nitrogen were 7,09 and 78kg/day respectively, 69% as nitrate.

Significant differences in TSS, nitrogen and phosphorus concentration were observed between these two basins ( $\alpha > 0,95$ ; Wilcoxon test).

**Keywords:** Total Suspended Solids, phosphorus, nitrogen.

## 1 INTRODUCCION

Los sedimentos son parte esencial, integral y dinámica de las cuencas de los ríos. Cuando las actividades humanas interfieren en la cantidad o calidad de los sedimentos, es necesario plantear la gestión sostenible de los sedimentos a escala de cuenca (SedNet, 2006). Su origen es la meteorización y la erosión de minerales y suelos de las partes altas de las cuencas y de las barrancas de los ríos.

La calidad de las aguas de una cuenca es dependiente de sus condiciones naturales así como de las actividades humanas que se desarrollan en ellas. El aporte de fósforo (P) y Sólidos Suspendidos (SS) a los cuerpos de agua es una causa importante de deterioro de la calidad de las aguas superficiales (Carpenter et al., 1998). Gran parte de estos aportes se atribuyen a fuentes difusas agrícolas y de la producción ganadera (Parkyn y Wilcock, 2004; Jacobson, 2012).

La identificación y cuantificación de los impactos naturales y antropogénicos en la composición química del agua de los ríos debe ser una parte importante de la gestión de los suelos y del agua en una cuenca (Petts y Calow, 1996). Los agroecosistemas modifican los ciclos naturales de cobertura vegetal, de la materia orgánica y de los nutrientes, mientras las tareas de laboreo pueden modificar en mayor o menor grado la estructura del suelo. Todo esto incrementa el lavado superficial y la erosión, intensificando el aporte de sustancias solubles y material sólido a los cursos de agua superficial.

Un tema recurrente en los debates de los diferentes estudios de caso es que cada caso es único, por razones naturales, socio-económicas y políticos (SedNet, 2006). Por ello, resulta adecuado el estudio particularizado de las cuencas, a fin de conocer su comportamiento en pos de diseñar políticas de conservación de los recursos suelo y agua.

En la cuenca alta del arroyo del Azul (provincia de Buenos Aires, Argentina), los arroyos Videla y Santa Catalina presentan calidades diferentes con respecto a la concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno) y de material particulado y turbidez (Rodríguez et al., 2006, 2008, 2009, 2010a, 2010b; Gonzalez Castelain et al., 2008; Albornoz et al., 2010). Ambas subcuencas son contiguas y de superficie similar (135 y 121 km<sup>2</sup>, respectivamente), por lo que resulta de interés comparar y entender las causa y consecuencias de esas diferencias.

El presente trabajo compara los valores obtenidos de la exportación de sólidos suspendidos, fósforo y nitrógeno en los arroyos Videla y Santa Catalina, y propone una explicación preliminar acerca de las posibles causas que pueden producir las diferencias observadas.

## 2 AREA DE ESTUDIO

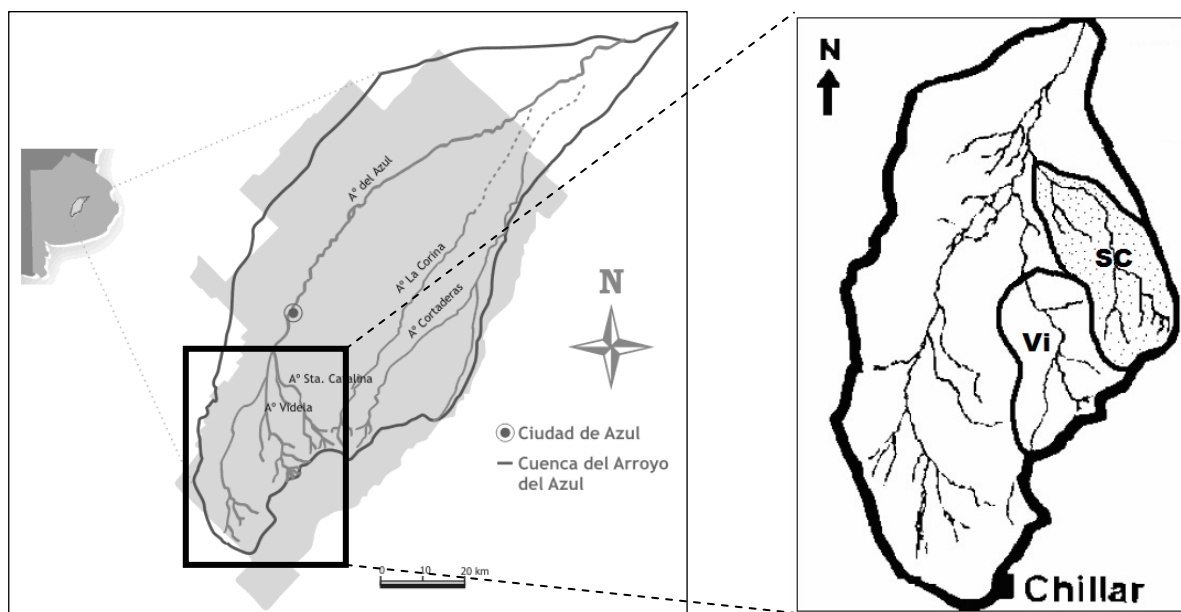
Los arroyos Videla y Santa Catalina constituyen los principales afluentes del arroyo del Azul, perteneciente a la cuenca del río Salado, en el centro de la Provincia de Buenos Aires (Figura 1). Estos arroyos se originan en un subambiente serrano, con pendientes superiores al 5%, que a los pocos kilómetros tiende a un sector pedemontano de formas suavemente onduladas, con pendientes de entre 0,5 y 2% (Sala et al., 1987).

En ambas cuencas se realizan actividades agrícolas y ganaderas intensas desde la década de 1990, pudiendo considerarlas como representativas de las áreas pampeanas de uso mixto. El incremento del uso agrícola y la fertilización intensa se manifiesta más claramente desde fines de esa década, acompañando la expansión dominante del cultivo de soja (Bilello, 2006). Los principales cultivos que se realizan son maíz, trigo, soja y girasol (Ares et al., 2007; Varni et al., 2008).

Las nacientes del arroyo Videla se originan al sur del cerro la Cresta (378,6msnm), y en un recorrido de 11km desciende desde los 310 msnm hasta los 200msnm (pendiente media del 1%). La cuenca media desciende hasta los 185msnm (pendiente media de 0,195%) y la baja hasta 160msnm (pendiente media de 0,227%).

Las nacientes del arroyo Santa Catalina se originan al norte y oeste del cerro la Cresta (378,6msnm), y en un recorrido de 11,3km desciende desde esa altura hasta los 185msnm

(pendiente media del 1,10%). La cuenca baja desciende hasta los 150msnm (pendiente media de 0,177%).



**Figura 1** –Ubicación del área de estudio en el Partido de Azul. Prov. de Buenos Aires. Cuenca del arroyo Videla (Vi) y del Santa Catalina (SC).

Ambos arroyos son intersecados por la Ruta Nacional N°3 (RN3), lo que fuerza un cierre artificial de su área de aporte, por lo menos en condiciones de aguas bajas. En ese lugar se encuentran sendas estaciones de aforo y los puntos de toma de muestra.

El arroyo Santa Catalina posee una longitud total de 31,1km, aproximadamente el doble de la longitud que posee el arroyo Videla al cortar la RN3. Hasta este lugar, la superficie de las cuencas es de 121 y 135 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Las dimensiones de la cuenca del Arroyo Santa Catalina alcanzan entre 7 y 8 km de ancho máximo (tanto en su cuenca alta como en la baja), por lo que resulta con una forma más longitudinal que la del arroyo Videla. La morfología de la red de drenaje de su cuenca alta es más densa, y está constituida por dos cursos de segundo orden, más diversos afluentes de régimen temporario. En su cuenca baja, el arroyo Santa Catalina se hace intermitente por una longitud aproximada de 11,5km, pudiendo secarse en períodos de lluvias escasas.

### 3 METODOLOGIA

Entre febrero de 2013 a marzo de 2014 se tomaron muestras subsuperficiales de las aguas de los arroyos Videla y Santa Catalina, con recipiente de boca ancha (2L; 7,5cm de diámetro). Se determinó la Concentración de Sólidos Suspendedos (CSS), de fósforo total (P), de nitrógeno Kjeldahl (NK) y de nitrato, según técnicas estándar.

La CSS se determinó según ASTM D3977-97– Método C (ASTM 2007). Las muestras fueron sedimentadas en conos de Imhoff durante 48hs como mínimo, y el sobrenadante fue extraído y filtrado por filtros de fibra de vidrio con capacidad de retención de 0,5µm. El precipitado y el residuo filtrado del sobrenadante se secaron a 105°C para determinar por gravimetría la Concentración de Sólidos Suspendedos (CSS).

En la muestra cruda (sin filtrar), se determinó el P por el método del ácido ascórbico (SM 4500-P E) luego de digestión con ácido nítrico-perclórico (SM 4500-P B3). El NK se determinó por destilación Macro Kjeldahl (SM 4500-Norg B). El nitrato se midió por espectrofotometría uv selectivo (SM 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> B) (APHA, AWWA, WEF, 2005). El nitrógeno total (N) se calculo por la suma del NK y el nitrato expresado como nitrógeno.

Los datos de precipitación y de caudal medio diario se obtuvieron a partir del registro de estaciones automáticas. El caudal sólido y másico de las especies químicas medidas se calculó como el producto de la concentración por el caudal de agua medio diario registrado para el día de muestreo. Las descargas anuales de las fracciones de P, N, NK y CSS fueron calculados a partir de los caudales másicos medios y los datos de caudal medio diario de agua.

Se aplicaron tests de normalidad (de Kolmogorov –Smirnov, de Lilliefors y de Shapiro-Wilk) a los datos obtenidos para cada variable y, en el caso de que las variables fueron normales, se compararon los resultados de ambos arroyos por un test de t para muestras pareadas. En caso de que alguno de los tests no aceptara la normalidad de una muestra, se compararon los resultados mediante técnicas no paramétricas para muestras pareadas (test de Wilcoxon) (Weimer, 2003). Se utilizó la correlación producto-momento entre las variables medidas para estimar la relación entre ellas, así como con la cantidad de lluvia caída en los días previos al muestreo y la intensidad máxima de lluvia en 30 minutos como medida de la energía erosiva de la lluvia.

#### 4 RESULTADOS

El caudal de agua transportado presentó diferencias significativas ( $p < 10^{-6}$ ; test de Wilcoxon) entre ambos arroyos. El arroyo Videla mostró mayores caudales y menor variabilidad, transportando un 27% más agua en el período estudiado (Tabla 1). Sólo fue superado por el caudal del arroyo Santa Catalina durante la primavera (Figura 2). Aunque los valores medios de caudal diario son del mismo orden, el máximo caudal registrado en el arroyo Videla superó tres veces al del arroyo Santa Catalina. La proporción de lluvia escurrida resultó semejante en ambas cuencas, aproximadamente un 17,7%.

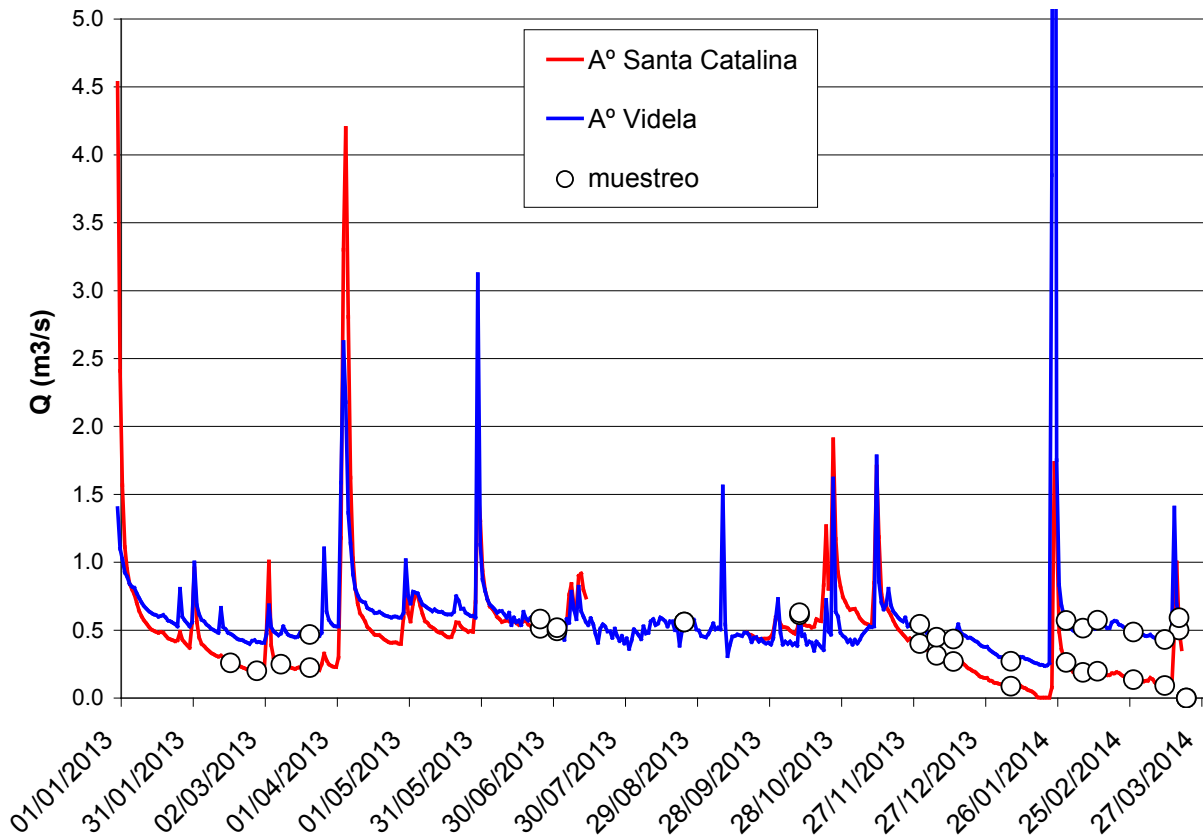
**Tabla 1** – Estadísticas del agua transportada por ambos cursos de agua

		En todo el período (enero/2013 a marzo/2014)		En las fechas de muestreo	
		Arroyo Videla	Arroyo Santa Catalina	Arroyo Videla	Arroyo Santa Catalina
Caudal medio diario	Media (m3/s)	0,60 (1) 0,57 (2)	0,47	0,54	0,29
	Mínimo (m3/s)	0,24	0,0025	0,27	0,09
	Máximo (m3/s)	13,62 (1) 3,85 (2)	4,20	1,10	0,61
	cv (%)	114,9 (1) 52,8 (2)	85,0	29,2	48,6
Volumen transportado (hm3/año)		18,94 (1)	14,92		
Precipitación total en el período		791,8 mm 106,9 Hm <sup>3</sup>	693,9 mm 84,0 Hm <sup>3</sup>		
Relación Escorrentía/Precipitación		17,72 %	17,77 %		
(1) incluyendo el valor extremo del 24/1/2014. (2) excluyendo el valor extremo del 24/1/2014.					

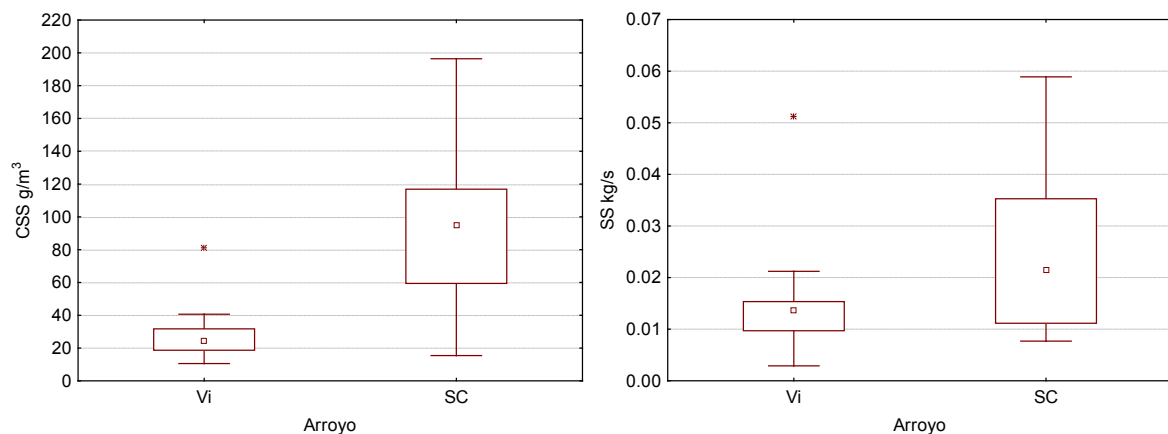
La CSS y el caudal sólido fueron significativamente mayores en el arroyo Santa Catalina que en el arroyo Videla ( $p < 0,001$  y  $p = 0,017$  respectivamente; test de Wilcoxon) (Figura 3). La CSS y la carga sólida medias del arroyo Videla fue de 27,6g/m<sup>3</sup> y 1278kg/día, y en el arroyo Santa Catalina de 93,1g/m<sup>3</sup> y 2118kg/día. El material particulado consistió en un 95 y 90% de material grueso, respectivamente para cada arroyo. La exportación de material sólido estimada fue de 34,6kg/ha/año en la cuenca del arroyo Videla, y de 63,9kg/ha/año en la del Santa Catalina.

El material sólido transportado por el arroyo Videla presentó baja dispersión, excepto la muestra obtenida en el momento del caudal pico generado en un evento de lluvia importante (10/10/2013), que presentó valores más elevados (Figura 4). El resto de los muestreos se realizaron en condiciones de caudal base o de recesión de una crecida (Figura 2). El material

sólido transportado por el arroyo Santa Catalina mostró valores muy dispersos, incluyendo CSS más importantes con valores bajos de caudal (Figura 4).

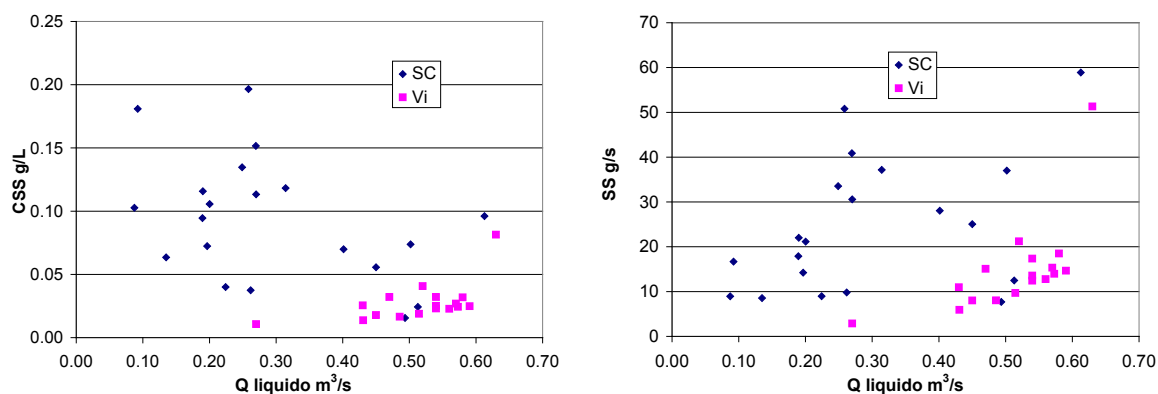


**Figura 2** – Hidrograma de los arroyos Videla y Santa Catalina durante el período de estudio.



**Figura 3** – Diagramas de caja (boxplot) de la Concentración de Sólidos Suspensos (CSS) y del caudal sólido (SS) en los arroyos Videla (Vi) y Santa Catalina (SC).

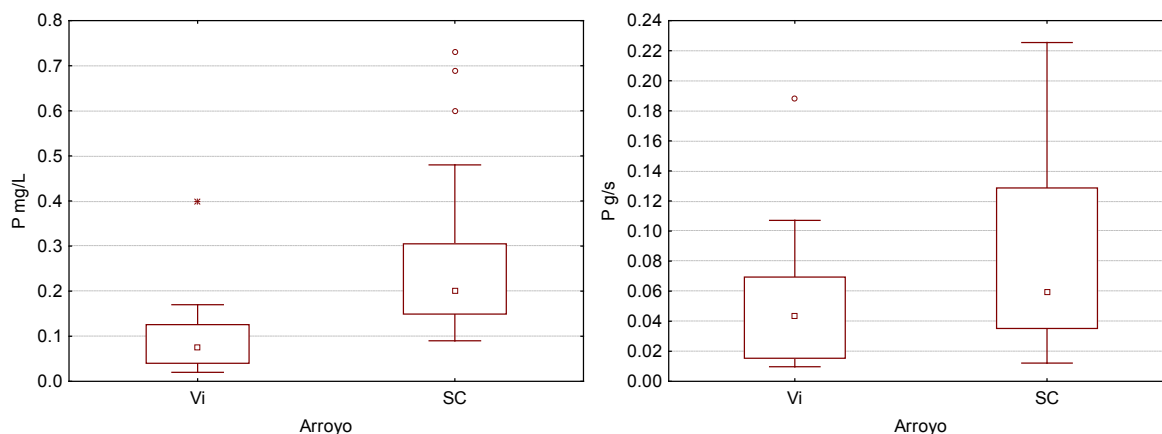
En el arroyo Santa Catalina, no se observaron correlaciones significativas entre el caudal sólido transportado y los valores del caudal de agua en el momento del muestreo ( $p > 0,06$ ), o de la cantidad de lluvia antecedente ( $p > 0,12$ ). Sí se observó correlación significativa entre la CSS y el caudal sólido transportado por este arroyo, con la intensidad máxima de lluvia en 30 minutos ocurrida en los 5 días previos al muestreo ( $r = 0,54$ ;  $p = 0,032$  y  $r = 0,53$ ;  $p = 0,035$ , respectivamente).



**Figura 4** – Concentración de Sólidos Suspendidos (CSS) y del caudal sólido (SS) en función del caudal de agua (Q).

En el arroyo Videla se observaron correlaciones significativas entre el CSS y el caudal sólido con el caudal de agua al momento del muestreo ( $r=0,60$ ;  $p=0,032$  y  $r=0,65$ ;  $p=0,016$ , respectivamente). No se observó correlación entre las variables medidas de sólidos y la lluvia antecedente o su intensidad ( $p>0,48$ ).

La concentración de fósforo fue significativamente más alta en el arroyo Santa Catalina que en el Videla ( $p<0,001$ ; test de Wilcoxon), aunque no se observaron diferencias en el caudal másico ( $p=0,14$ ; test de Wilcoxon) (Figura 5). La concentración y el caudal másico medios de P total fue de  $0,10\text{mg/L}$  y  $4,43\text{kg/día}$  en el arroyo Videla, y de  $0,27\text{mg/L}$  y  $7,09\text{kg/día}$  en el Santa Catalina. La exportación estimada de P en la cuenca del arroyo Videla fue de  $120\text{g/ha/año}$ , y de  $214\text{g/ha/año}$  en la cuenca del Santa Catalina.



**Figura 5** – Diagramas de caja (boxplot) de la concentración y el caudal másico de fósforo (P).

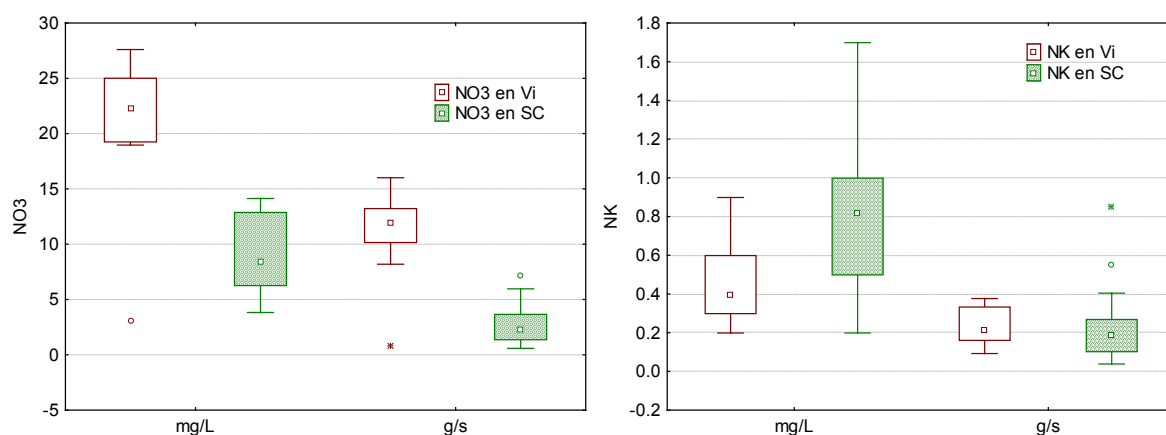
En el arroyo Videla no se observó correlación significativa entre la concentración de P o su caudal másico con el caudal de agua ( $p>0,18$ ), con el material sólido transportado ( $p>0,07$ ), o con la cantidad o intensidad de lluvias antecedentes ( $p>0,75$ ).

En el arroyo Santa Catalina se observó correlación significativa entre la concentración y el caudal másico de P con la intensidad máxima de lluvia en 30 minutos durante los 3 a 5 días previos al muestreo ( $r>0,51$ ;  $p<0,043$ ). No se observó correlación significativa entre la concentración de P con el caudal de agua ( $p=0,88$ ) o el material sólido transportado ( $p>0,07$ ); el caudal másico de este nutriente resultó correlacionado con el caudal de agua ( $r=0,50$ ;  $p=0,027$ ) y con el caudal sólido ( $r=0,69$ ;  $p=0,002$ ).

Con respecto al nitrógeno total, se hallaron diferencias significativas tanto en la concentración como en su caudal másico ( $p=0,001$ ; test de Wilcoxon), siendo superiores en el arroyo Videla. La producción media de nitrógeno fue de  $239\text{kg/día}$  para el arroyo Videla, y de  $78,3\text{kg/día}$  para el

arroyo Santa Catalina. La exportación estimada fue de 6,5 kg/ha/año para la cuenca del arroyo Videla, y de 2,4kg/ha/año para la cuenca del Santa Catalina.

Este elemento se encontró mayormente en forma de nitrato (88 y 69% en el arroyo Videla y Santa Catalina, respectivamente), mostrando correlación significativa entre el total y la forma inorgánica en ambos arroyos ( $r>0,87$ ;  $p<0,001$ ). Al igual que con el nitrógeno total, el nitrato también presentó diferencias significativas en su concentración y caudal másico ( $p<0,001$ ; test de Wilcoxon), siendo más elevados en el arroyo Videla (Figura 6). No se observaron diferencias significativas en el caudal másico del nitrógeno orgánico ( $p=0,43$ ; test de Wilcoxon), aunque su concentración fue superior en el arroyo Santa Catalina ( $p<0,001$ ; test de t).



**Figura 6** – Diagramas de caja (boxplot) de la concentración y el caudal másico de nitrato (a la izquierda) y de nitrógeno Kjeldahl (NK, a la derecha).

En el arroyo Videla, la concentración y el caudal másico de nitrógeno total y de nitrato se correlacionaron con el caudal de agua ( $r>0,68$ ;  $p<0,06$ ). No se observó correlación significativa con la cantidad y la intensidad de la lluvia ( $|r|<0,19$ ;  $p>0,56$ ).

En el arroyo Santa Catalina, sólo se obtuvo una correlación entre el caudal másico de nitrógeno y de nitrato con el caudal de agua ( $r>0,76$ ;  $p<0,001$ ). No se observó correlación significativa con la cantidad y la intensidad de la lluvia ( $|r|<0,50$ ;  $p>0,06$ ).

En ninguna de las dos cuencas se observó correlación entre el nitrógeno y el material sólido transportado ( $|r|<0,43$ ;  $p>0,11$ ).

## 5 DISCUSION

Debido a que el arroyo Santa Catalina muestra una mayor turbidez que otros cursos de agua de la cuenca alta del arroyo del Azul (Gonzalez Castelain et al., 2008), se consideró a priori que los procesos asociados a la exportación de material sólido y de nutrientes eran más importantes en esta cuenca que en otras cuencas vecinas como, por ejemplo, la del arroyo Videla. Los resultados presentados en este trabajo ratifican esta asunción en cuanto a la exportación de sólidos suspendidos, pero la relativizan con respecto a los nutrientes dado que el caudal másico de fósforo no difiere entre ambas cuencas, y el de nitrógeno es superior en la cuenca del arroyo Videla.

La medida de la exportación de una cuenca, tal como se la ha realizado en este trabajo, no necesariamente refleja todos los procesos de erosión, lavado y transporte de materiales del suelo. Debe considerarse que las peculiaridades locales del relieve, de otros componentes del paisaje y del cauce, así como la dinámica fluvial, de la escorrentía difusa y del uso del suelo, pueden producir efectos diversos en la remoción, sedimentación, solubilización o lixiviación, dando por resultado que no todo el material de la cuenca que sea movilizado por la lluvia termina transportado hasta un punto dado del cauce. Si bien conceptualmente la exportación se asocia a la erosión y lavado de los suelos, o son necesariamente equivalentes.

La exportación de sólidos de la cuenca del arroyo Santa Catalina se encontraría relacionada con la energía erosiva de la lluvia (medida como la intensidad máxima de lluvia en 30 minutos), mientras que en el arroyo Videla se asocia con el caudal de agua circulante. Esto sugiere que la erosión y transporte de sólidos difiere en ambas cuencas no sólo en su magnitud sino también en la dinámica de los procesos involucrados, incluyendo obviamente los procesos hidrológicos.

La influencia de la intensidad máxima de lluvia ocurrida en los 5 días previos al muestreo es aproximadamente el tiempo que transcurre desde el inicio de las precipitaciones hasta el inicio de la curva de agotamiento. En el caso de un evento aislado de lluvia, estos 5 días describirían el período de aporte de la lluvia al caudal por efecto de la escorrentía directa. Muchas de las muestras consideradas en este trabajo se extrajeron en condiciones de solapamiento de la escorrentía producida por pequeñas lluvias aisladas ocurridas en días consecutivos.

La mayor variabilidad del caudal del arroyo Santa Catalina podría interpretarse como una respuesta directa a la lluvia caída, mientras que en el arroyo Videla la mayor constancia podría explicarse a partir de un mayor aporte sub-superficial o del acuífero somero, que produce un efecto atenuado en el caudal, más distribuido temporalmente y menos fluctuante. La exportación de sólidos en ambas cuencas respondería en coincidencia con esta propuesta de funcionamiento hidrológico.

La asociación entre exportación e intensidad y energía erosiva de la lluvia se observó también en la concentración y en el caudal másico de P en el arroyo Santa Catalina. La asociación del caudal másico de fósforo con el caudal sólido sugiere que podría haber un patrón común en el origen de ambos materiales. Se considera que la causa principal de la pérdida de sedimentos y de P en las cuencas hidrográficas es la escorrentía provocada por las precipitaciones (Graczyk et al., 2011; Heathwaite y Dils, 2000; Jacobson, 2012). De todas formas, no se descarta el aporte de P soluble por el caudal base o el flujo sub-superficial a partir de la interacción agua-suelo (Haygarth and Jarvis 1999).

Si bien el arroyo Santa Catalina presentó mayor concentración de fósforo que el arroyo Videla, el mayor caudal de agua de este último compensa esta diferencia generando resultados semejantes en cuanto al caudal másico y las cantidades estimadas de fósforo que se exportan de ambas cuencas. La ausencia de correlación entre las mediciones de fósforo y el caudal de agua o las lluvias antecedentes en el arroyo Videla avala la hipótesis de que los aportes difusos de P soluble en el flujo base ocultarían la relación lluvia-exportación de P.

La exportación de nitrógeno es mayoritariamente en forma de nitrato en ambas cuencas, siendo superior en el arroyo Videla, en donde se encuentra relacionada con el caudal de agua. Arreghini et al. (2007) observaron en otro arroyo pampeano, que el ingreso de agua de escorrentía directa diluye la concentración de nitrato. El nitrato se lixivia muy fácilmente en suelos húmedos (Lehmann and Schroth, 2003) y puede movilizarse en la zona no saturada con el agua. El agua subterránea juega un papel importante en el control de la concentración de nitrato de agua de los arroyos (Ruiz et al., 2002). Esto, así como la falta de correlación con la cantidad e intensidad de las lluvias, sugiere que el nitrato en forma soluble es aportado en mayor medida por el caudal base, el que sería más importante en el arroyo Videla que en el Santa Catalina.

## **6 CONCLUSIONES**

Se hallaron diferencias en los patrones de exportación de sólidos suspendidos, fósforo y nitrógeno entre las cuencas de los arroyos Videla y Santa Catalina, provincia de Buenos Aires, Argentina. La exportación de sólidos suspendidos es mayor en el arroyo Santa Catalina, relacionada con la intensidad máxima de las lluvias en los 5 días previos al muestreo. La exportación de nitrógeno es superior en la cuenca del arroyo Videla, asociada con el caudal de agua circulante. No se observaron diferencias significativas en la exportación de fósforo entre ambas cuencas.

La mayor fluctuación del caudal de agua en el arroyo Santa Catalina, y la dependencia de la CSS con la intensidad máxima de lluvias, sugieren una mayor importancia de la escorrentía superficial directa en esa cuenca, en contraposición a la del arroyo Videla en la que podría ser más importante el aporte sub-superficial y subterráneo.



## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con fondos de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) y la Municipalidad de Azul. Se agradece al personal del Laboratorio del Instituto de Hidrología de Llanuras por la colaboración brindada en el análisis químico de las muestras, a la Lic. M.F. Altolaquirre (Profesional de Apoyo, CIC), al Ing. D. Arias y la sra. N. de Libano (UNCPBA).

## REFERENCIAS

- Albornoz, H., Gonzalez Castelain, J. y Peluso, F., 2010. Exportación de materia en la cuenca del arroyo Videla, Azul, Buenos Aires". *Resúmenes VI Congreso de Ecología y Manejo de Ambientes Acuáticos Pampeanos*, Santa Rosa, La Pampa.
- APHA, AWWA, WEF, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environmental Federation. Centennial Edition. 21<sup>st</sup> Edition. 1496 pags.
- Ares, M., Varni, M., Entraigas, I. y Marzoratti, M., 2007. *Uso del suelo y grado de cobertura vegetal en una cuenca del centro de la provincia de Buenos Aires*. Cuadernos del CURIHAM 13 (1): 63-69.
- Arreghini, S., de Cabo, L., Seoane, R., Tomazin, N., Serafini, R. y de Iorio, A., 2007. A methodological approach to water quality assessment in an ungauged basin, Buenos Aires, Argentina. *GeoJournal*, 70:281–288.
- ASTM, 2007. *ASTM D3977-97(2007) Standard Test Methods for Determining Sediment Concentration in Water Samples*. American Society for Testing and Materials. 25 pags.
- Bilello G., 2006. Innovación Productiva y Empleo Rural en La Pampa Argentina. Un Estudio de Caso en Áreas Mixtas. VII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología Rural, Quito, Ecuador:120-121.
- Carpenter, S., Caraco, N., Correll, D., Howarth, R., Sharpley, A. and Smith, V., 1998. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Issues in Ecology*, 3:2-12. Ecological Society of America. En <http://www.esa.org/esa/wp-content/uploads/2013/03/issue3.pdf>
- Gonzalez Castelain, J., Rodríguez, L. y Peluso, F., 2008. Material particulado, materia orgánica y nutrientes en la cuenca alta del arroyo del Azul (Provincia de Buenos Aires). *Resúmenes V Congreso de Ecología y Manejo de Ambientes Acuáticos Pampeanos*, Luján, Prov. de Buenos Aires.
- Graczyk, D.J., Robertson, D.M., Baumgart, P.D. and Fermanich, K.J., 2011. *Hydrology, phosphorus and suspended solids in five agricultural streams in the Lower Fox River and Green Bay watersheds, Wisconsin, Water Years 2004–2006*. US Geological Survey Scientific Investigations Report, 2011–5111.
- Haygarth, P.M. and Jarvis, S.C., 1999. Transfer of phosphorus from agricultural soil. *Advances in Agronomy* 66:195-249.
- Heathwaite, A.L. and Dils, R.M., 2000. Characterising phosphorus loss in surface and subsurface hydrological pathways. *Science of the Total Environment*, 251-252:523-538.
- Jacobson, M., 2012. *Phosphorus and Sediment Runoff Loss: Management Challenges and Implications in a Northeast Wisconsin Agricultural Watershed*. Thesis of Master of Science in Environmental Science and Policy, University of Wisconsin. 119 pags. En [https://www.uwgb.edu/watershed/REPORTS/Thesis/Jacobson-Marty\\_UWGB-Thesis\\_August2012.pdf](https://www.uwgb.edu/watershed/REPORTS/Thesis/Jacobson-Marty_UWGB-Thesis_August2012.pdf)
- Lehmann, J. and Schroth, G., 2003. Nutrient leaching. In: *Trees, Crops and Soil fertility - Concepts and Research methods*, Schroth, G. and Sinclair, F.L. (eds.), CAB International, Wallingford, UK. pp. 151-166.
- Parkyn, S. and Wilcock, R.J., 2004. Impacts of agricultural land use. In: Harding, J.; Mosley, P.; Pearson, C.; Sorrell, B. ed. *Freshwaters of New Zealand*. New Zealand Hydrological Society and New Zealand Limnological Society. Caxton Press, Christchurch. 34 pags.
- Petts, G.E. & Calow, P., 1996. Water allocation to protect river ecosystems. In Petts, G. and Callow, P. (eds.). *River Restoration*. Blackwell Science, Oxford, pags 1-6.
- Rodríguez, L., Peluso, F. y Gonzalez Castelain, J., 2006. Evaluación de la Calidad de las Aguas del Arroyo del Azul, Prov. de Buenos Aires. *Ecológica* (15):16-19.
- Rodríguez, L., Peluso, F. y Gonzalez Castelain, J., 2008. Comparación de índices de calidad de aguas aplicados en el arroyo del Azul, Provincia de Buenos Aires. Cuadernos del CURIHAM 14: 41-50.
- Rodríguez, L., Gonzalez Castelain, J. y Peluso, F., 2009. Sectorización de la calidad del agua del arroyo del Azul, Provincia de Buenos Aires, mediante la aplicación de técnicas estadísticas. *Biología Acuática* 26:197-208.
- Rodríguez L., Gonzalez Castelain, J., Peluso F. y Othax, N., 2010a. Descripción general de la calidad de las aguas del Arroyo del Azul (Prov. de Buenos Aires). Actas del I Congreso Internacional de Hidrología de

Llanuras: 697-704.

- Rodríguez L., Gonzalez Castelain, J., Peluso F. y Othax, N., 2010b. Uso de técnicas estadísticas multivariadas para la evaluación de la calidad de las aguas del Arroyo del Azul, Buenos Aires, Argentina. Actas del I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras: 705-712.
- Ruiz, L., Abiven, S., Durand, P., Martin, C., Vertès, F., and Beaujouan, V., 2002. Effect on nitrate concentration in stream water of agricultural practices in small catchments in Brittany: I. Annual nitrogen budgets. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 6:497-506.
- Sala, J., Kruse E. y Aguglino, R., 1987. *Investigación hidrológica de la Cuenca del Arroyo Azul, Provincia de Buenos Aires*. Informe 37, Programa Prioritario de Asesoramiento a Municipalidades, Comisión de Investigaciones Científicas. 235p.
- SedNet, 2006. *Sediment Management – an essential element of River Basin Management Plans. Report of SedNet Round Table Discucion*. European Sediment Network. 27 pags. En [http://www.sednet.org/download/061122\\_Report\\_SedNet\\_Round\\_Table\\_Discussion.pdf?baggernet=subject](http://www.sednet.org/download/061122_Report_SedNet_Round_Table_Discussion.pdf?baggernet=subject)
- Varni, M., Entraigas, I. y Ares, G. 2008. Evolución espacio-temporal del uso de la tierra a partir del procesamiento de imágenes Sac-C en la cuenca del arroyo del Azul (Argentina). *Revista de la ASAGAI - Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 22: 99-105.
- Weimer, R.C., 2003. *Estadística*. Compañía Editorial Continental (CECSA), México. 2da. Edición.839 pags.