

CURSO DE POSGRADO • 3ª EDICIÓN

# Eutrofización *y biogeoquímica* ambiental del fósforo.



LIMNO.CUENCAS.UY

INICIO

15 de junio  
2026

MODALIDAD

Intensivo  
Presencial / Distancia

RESPONSABLES

Dr. Guillermo Goyenola  
Dra. Mariana Meerhoff  
✉ aguadulceuy@gmail.com



BIOLOGÍA  
GEOCIENCIAS



FACULTAD DE  
CIENCIAS



POSGRADOS  
DE CIENCIAS  
AMBIENTALES



UPEP

Unidad de Planificación y Gestión de Recursos



CURE

Centro Universitario  
Regional del Este





# P transfer continuum



“IMPACT” (2016)

Erik Johansson <https://www.erikjo.com/>



Guillermo Goyenola  
[goyenola@gmail.com](mailto:goyenola@gmail.com)



Laboratorio de  
**Ciencia de Cuencas  
y Limnología**  
del Antropoceno  
CATCHMENT SCIENCE · ANTHROPOGENE LIMNOLOGY



## The phosphorus transfer continuum: Linking source to impact with an interdisciplinary and multi-scaled approach

P.M. Haygarth<sup>a,\*</sup>, L.M. Condon<sup>b</sup>, A.L. Heathwaite<sup>c</sup>, B.L. Turner<sup>d</sup>, G.P. Harris<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Soil Science and Environmental Quality Team, Institute of Grassland and Environmental Research, North Wyke Research Station, Okehampton, Devon

<sup>b</sup>Agriculture and Life Sciences, P.O. Box 84, Lincoln

<sup>c</sup>Centre for Sustainable Water Management, Lancaster Environ

<sup>d</sup>Smithsonian Tropical Research Institute, Box

<sup>e</sup>University of Tasmania, Sandy Bay

Available online

P.M. Haygarth et al. / Science of the Total Environment 344 (2005) 5–14

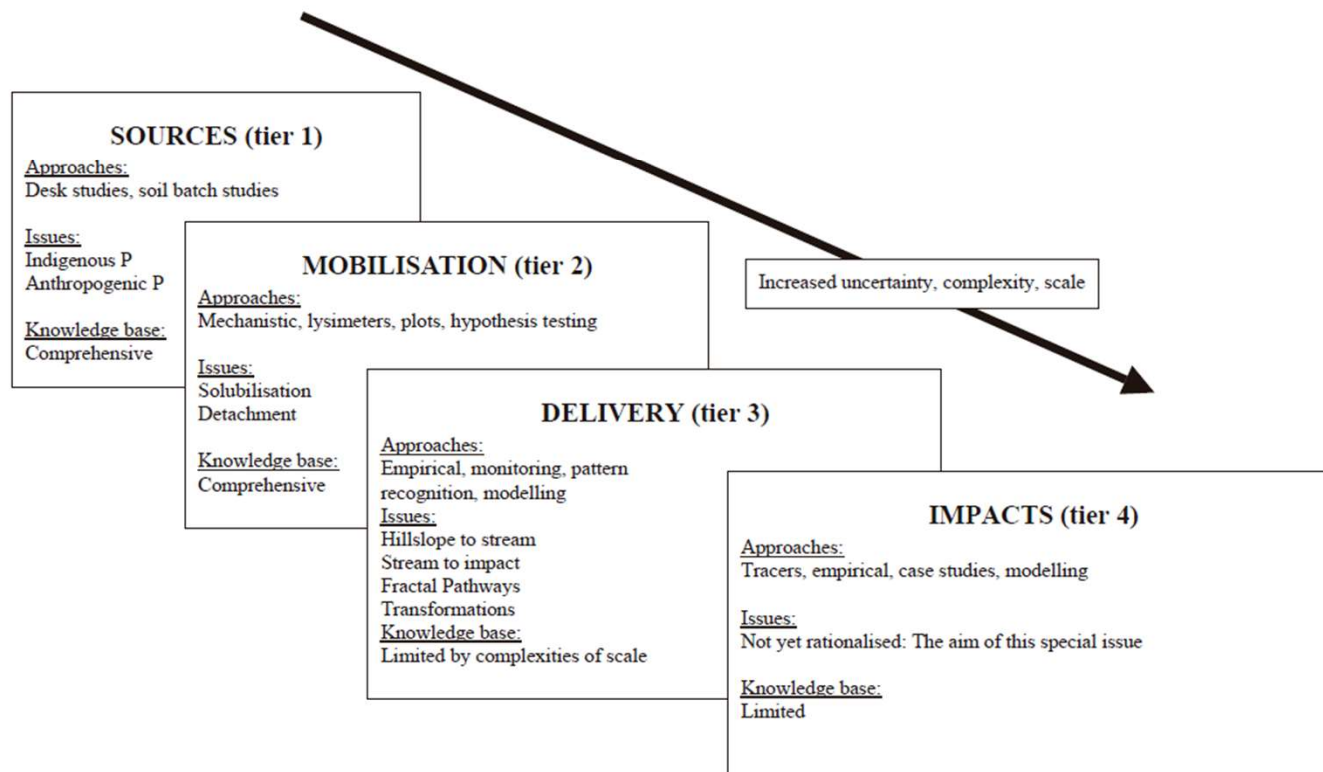
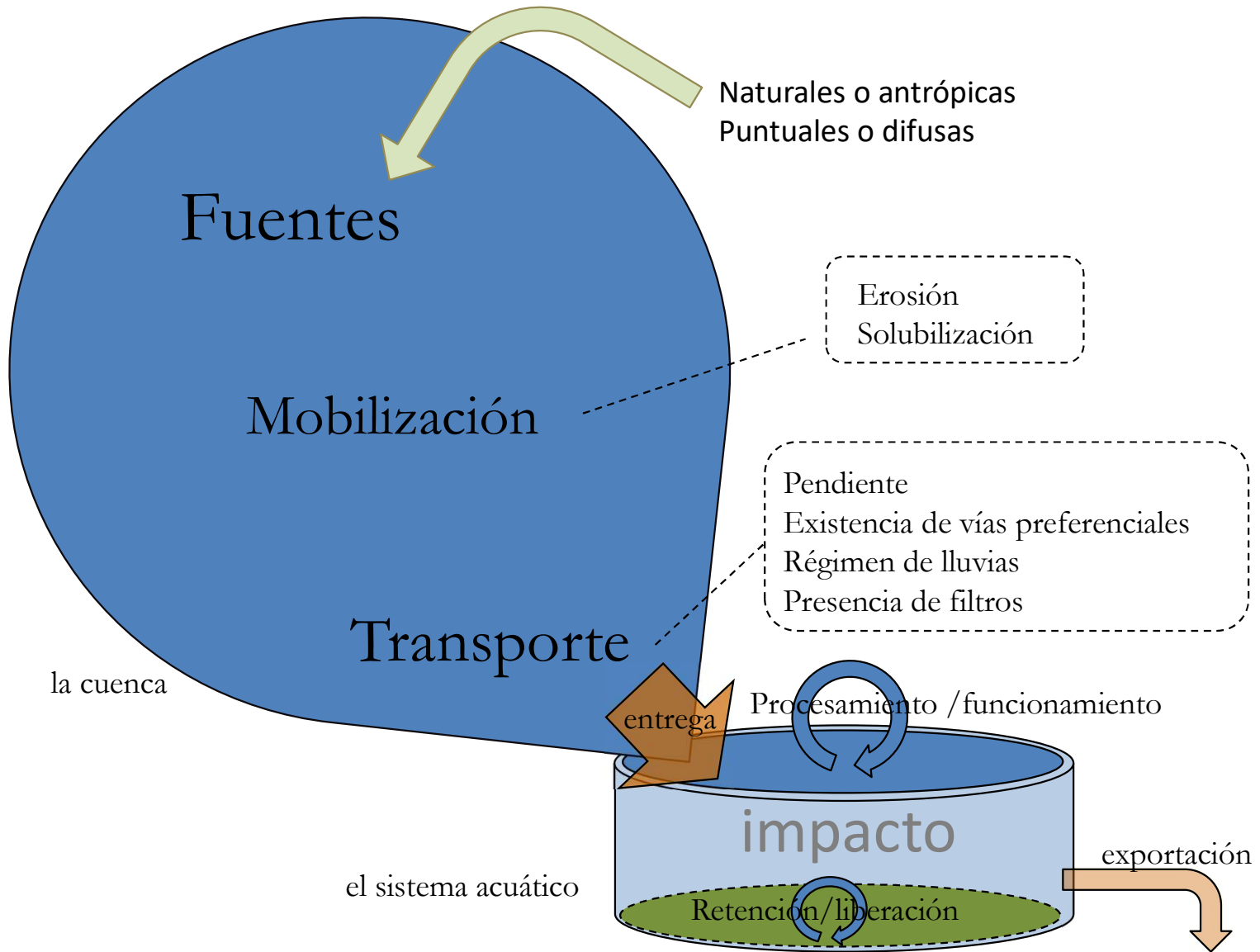


Fig. 1. The 'Phosphorus Transfer Continuum', a simple four-tiered model to describe the research approaches and needs for the continuum of phosphorus transfer from source to impact.





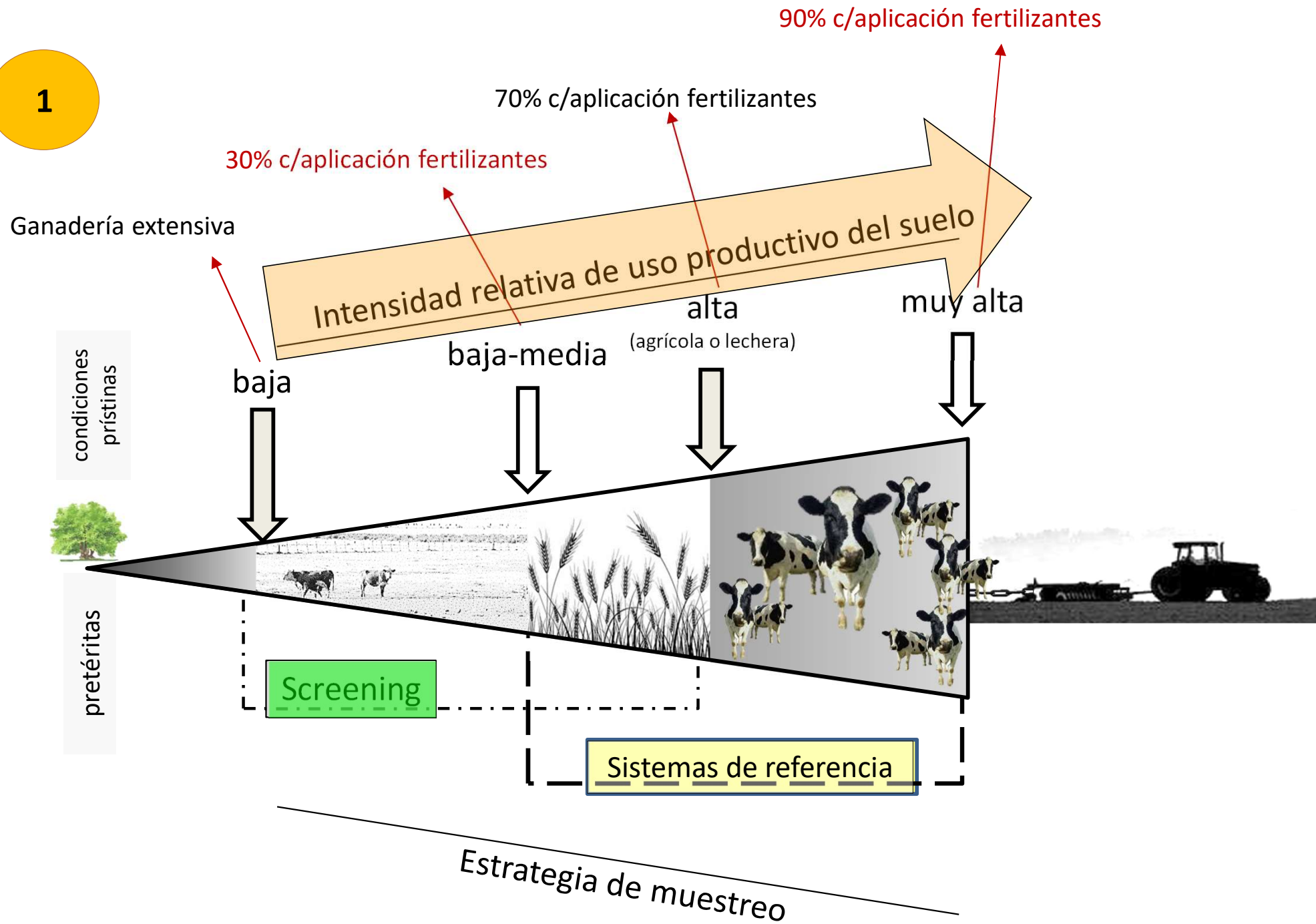
El Manejo Responsable 4R de los nutrientes implica “aplicar la fuente de nutrientes correcta, a una dosis correcta, en el momento correcto y el lugar correcto”, una herramienta esencial en el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles.

¿Cuánta certeza cuantitativa existe acerca de la contribución de distintas fuentes de emisión de Fósforo sobre la eutrofización en las cuencas del Uruguay?

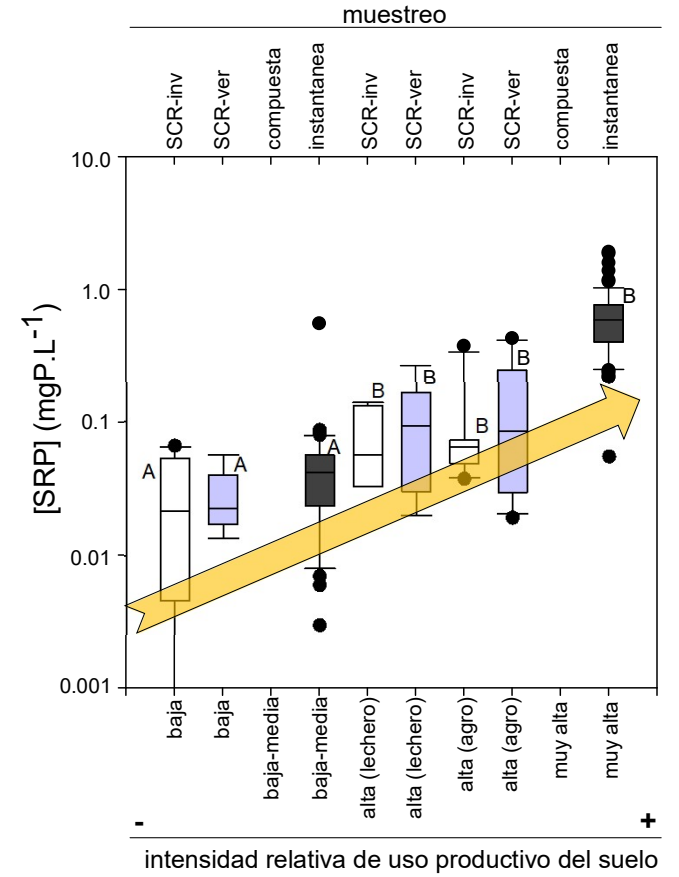
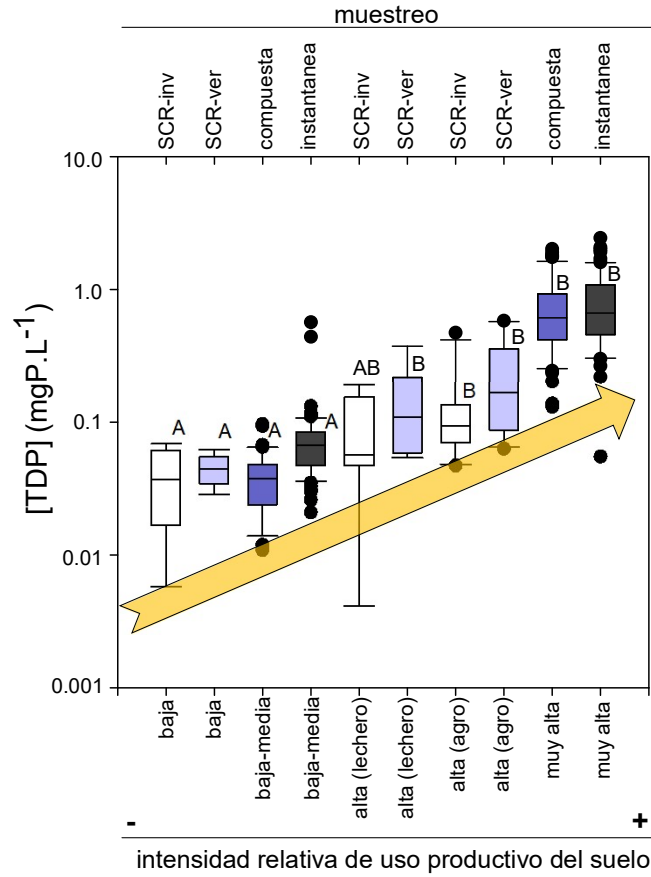
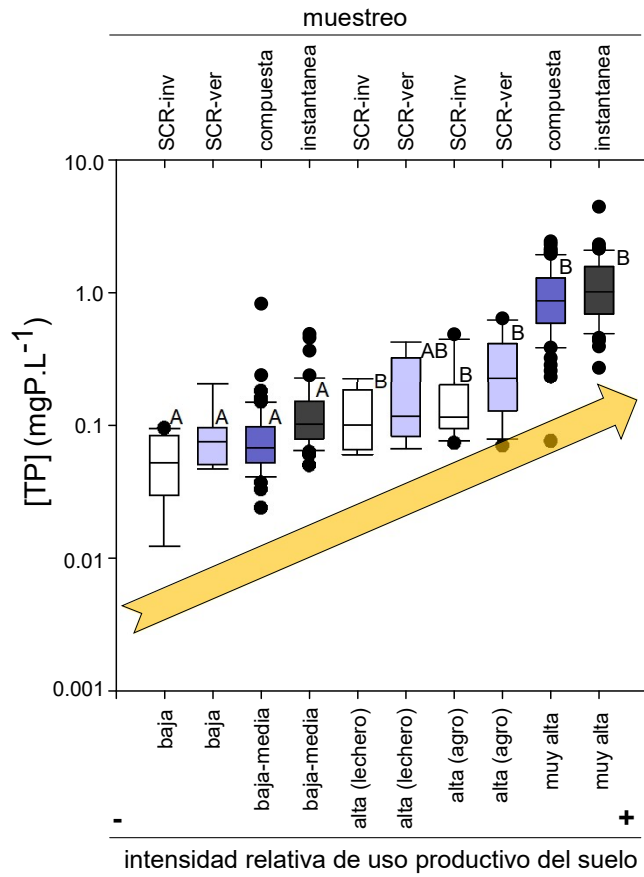


ARROYOS/MICROCUENCAS

1



1

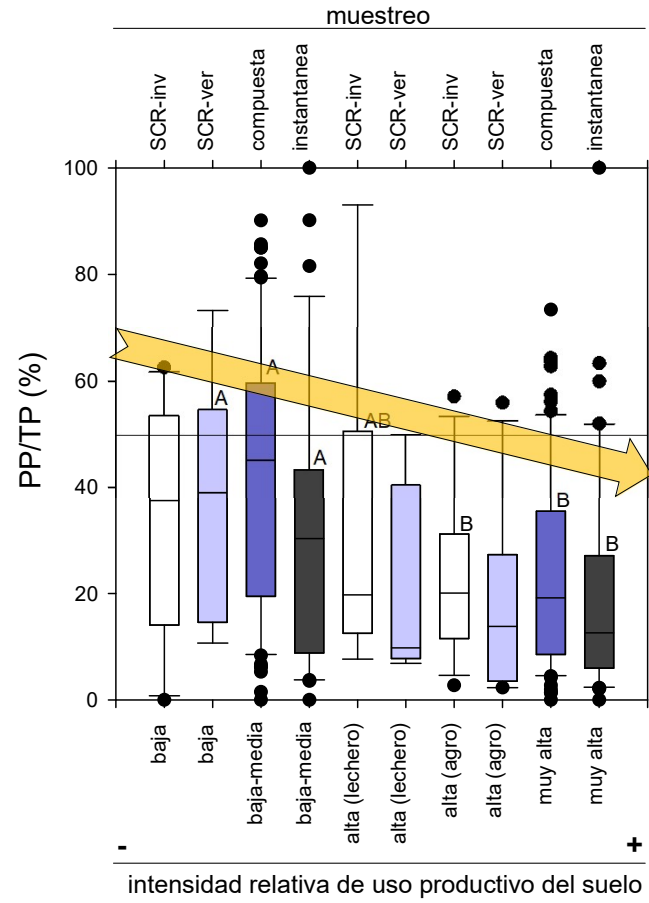
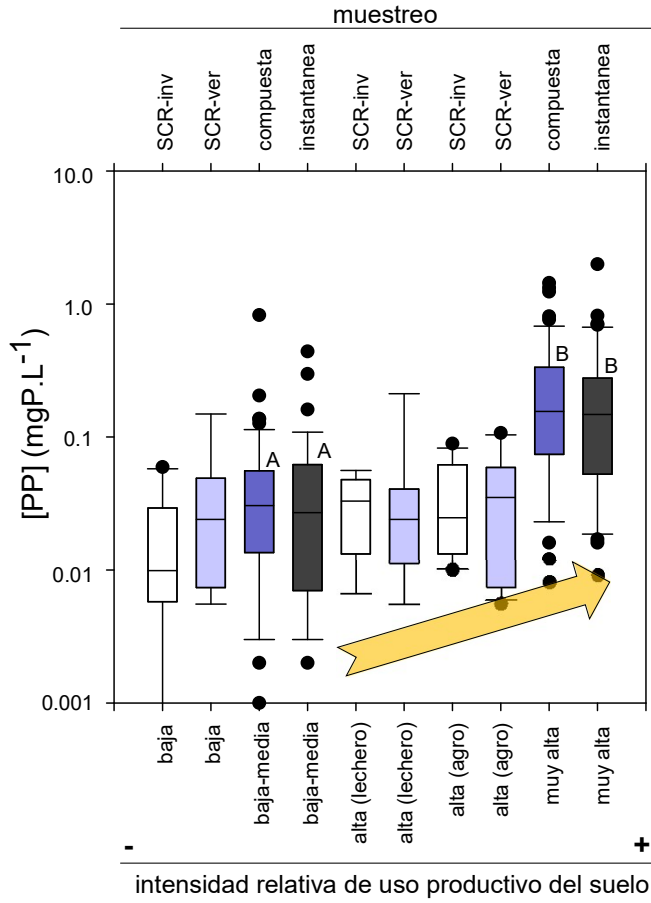


**Tabla 1.- Efecto de la intensidad de uso del suelo sobre el fósforo en arroyos de cabecera del Uruguay, de acuerdo a ANOVAs de 1-vía realizados para las concentraciones de TP, TDP, PP, SRP y la contribución relativa del PP al TP, asociadas a intensidades contrastantes de uso del suelo. Se indica la estrategia de muestreo seguida. Sistemas de referencia (arriba): factor intensidad de uso del suelo, 2 niveles. *Screening* (abajo): factor intensidad de uso del suelo, 3 niveles. Nivel de significancia:  $P < 0.05^*$ ,  $P < 0.01^{**}$ ,  $P < 0.001^{***}$ ,  $0.10 > P > 0.05 = ms$  (marginamente significativo),  $P > 0.10 ns$  (no significativo).**

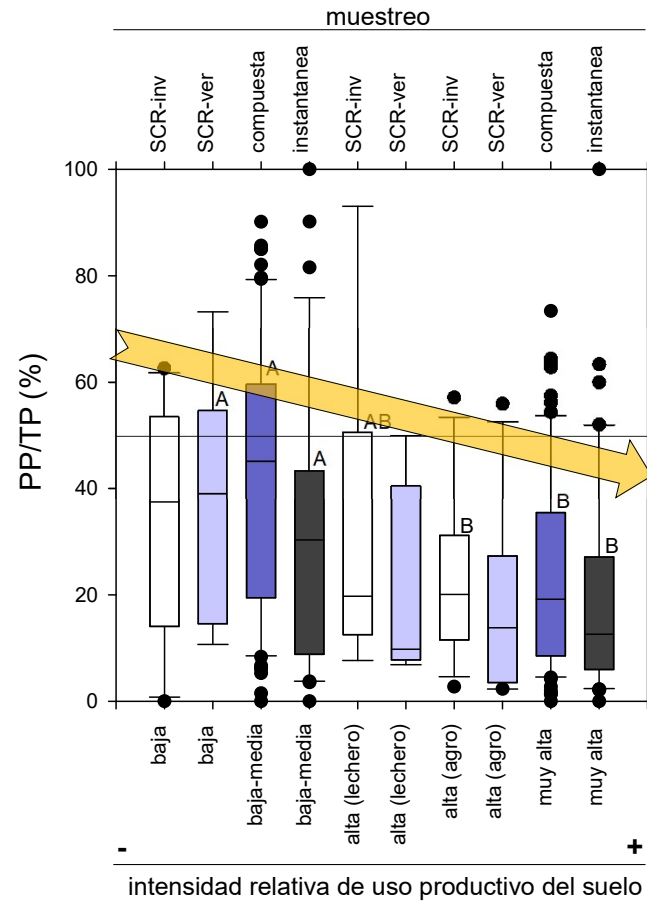
	Arroyos de referencia (n=2)					
	Compuestas (3 años)			Instantáneas (3 años; 2 años para TP)		
	baja-media	muy alta	ANOVA	baja-media	muy alta	ANOVA
<b>TP</b>	0.07	0.82	$F_{(1, 120)} = 477.62^{***}$	0.11	1.02	$F_{(1, 84)} = 360.43^{***}$
<b>TDP</b>	0.03	0.62	$F_{(1, 120)} = 151.63^{***}$	0.06	0.68	$F_{(1, 128)} = 505.2^{***}$
<b>PP</b>	0.03	0.15	$F_{(1, 117)} = 61.65^{***}$	0.02	0.11	$F_{(1, 75)} = 32.97^{***}$
<b>%PP/TP</b>	31.6%	15.8%	$F_{(1, 136)} = 22.31^{***}$	19%	11%	$F_{(1, 75)} = 4.86^*$
<b>SRP</b>	no se determinó			0.03	0.54	$F_{(1, 126)} = 451.40^{***}$

	Screening							
	Invierno				Verano			
	Baja (n=10)	Alta (n=9) (lechera)	Alta (n=12) (agro)	ANOVA	baja (n=9)	alta (n=9) (lechera)	alta (n=11) (agro)	ANOVA
<b>TP</b>	0.04	0.11	0.14	$F_{(2, 28)} = 9.78^{***}$	0.09	0.15	0.22	$F_{(2, 26)} = 4.11^*$
<b>TDP</b>	0.03	0.06	0.10	$F_{(2, 28)} = 5.78^{**}$	0.04	0.12	0.18	$F_{(2, 26)} = 12.01^{**}$
<b>SRP</b>	0.01	0.07	0.07	$F_{(2, 28)} = 7.76^{**}$	0.02	0.07	0.10	$F_{(2, 26)} = 6.51^{**}$
<b>SRP</b>	0.01	0.07	0.07	$F_{(2, 28)} = 7.76^{**}$	0.02	0.07	0.10	$F_{(2, 26)} = 6.51^{**}$
<b>PP</b>	8.5%	24.5%	29.4%	$F_{(2, 27)} = 2.05 ns$ $p=0.15$	0.02	0.02	0.03	$F_{(2, 26)} = 0.05 ns$ $p=0.95$
<b>%PP/TP</b>	17.5%	23.2%	20.4%	$F_{(2, 27)} = 1.01 ns$ $p=0.38$	30.7%	15.7%	11.6%	$F_{(2, 26)} = 2.90 ms$ $p=0.07$

La intensidad de uso productivo del suelo es el factor determinante de la concentración de especies fosforadas en los sistemas acuáticos ubicados cuenca abajo.

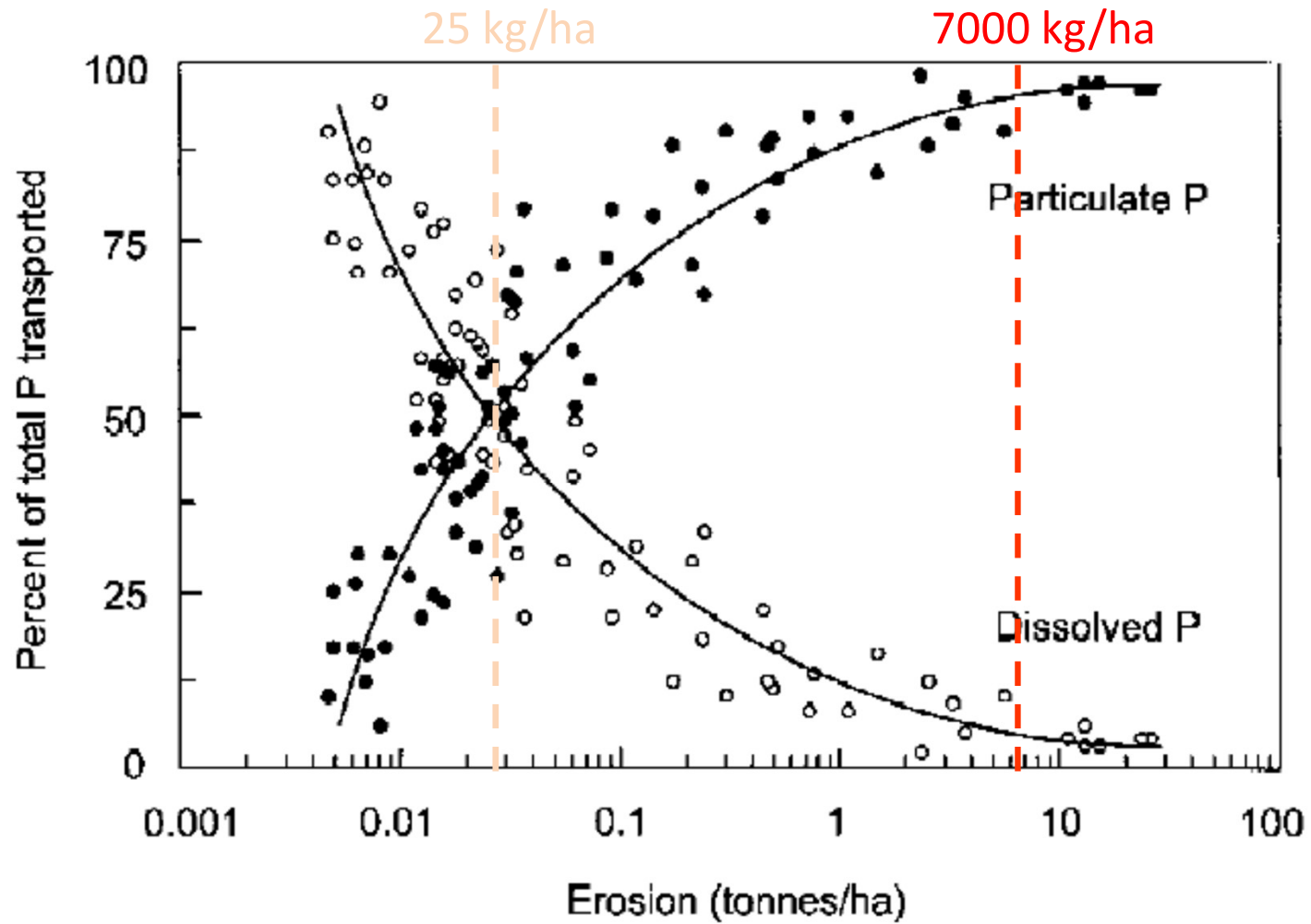


particulado vs. disuelto



particulado vs. disuelto

2



particulado vs. disuelto

(Sharpley *et al.*, 2001)

P disuelto por doquier.

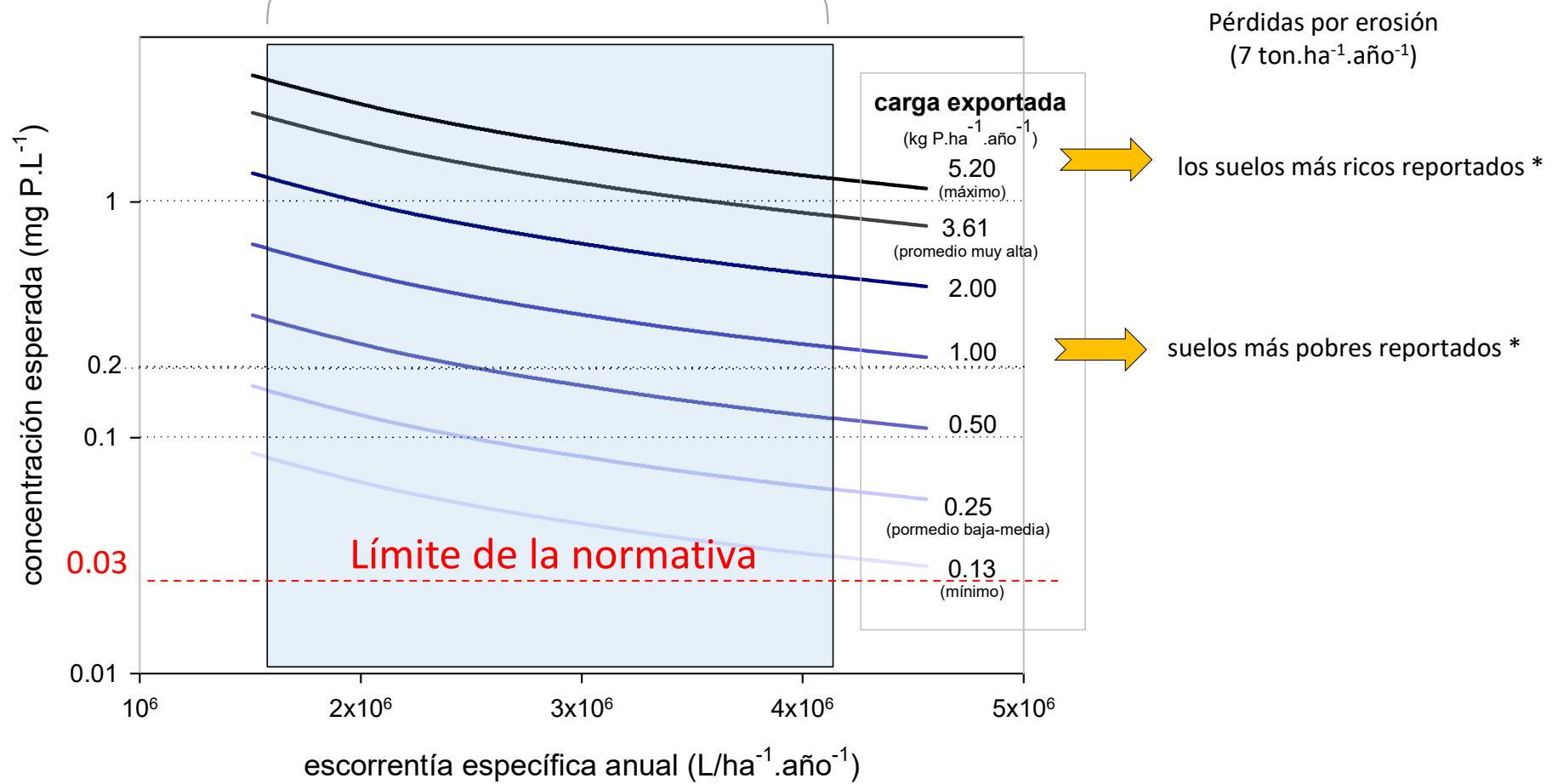
¿Erosión?

## Escenarios de calidad de agua

### Capacidad de dilución de las cargas exportadas



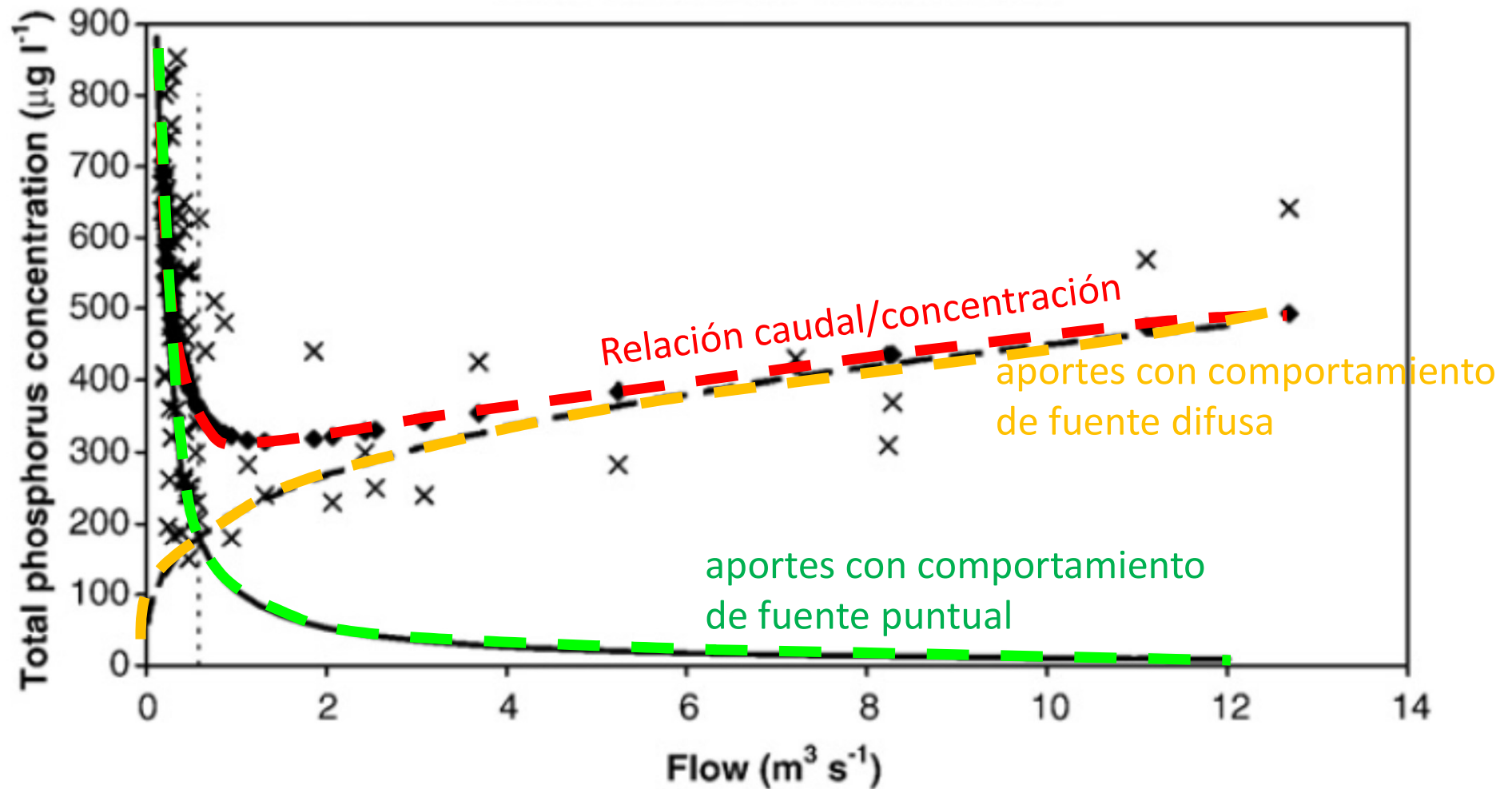
### Producción de agua medida (rango)



¡particulado vs. disuelto!

Lo tolerable agronómicamente  
(i.e.: pérdida de suelo y costo de fertilización)  
VS.  
lo tolerable desde la perspectiva de calidad de agua

## Asignación a fuentes puntuales y difusas



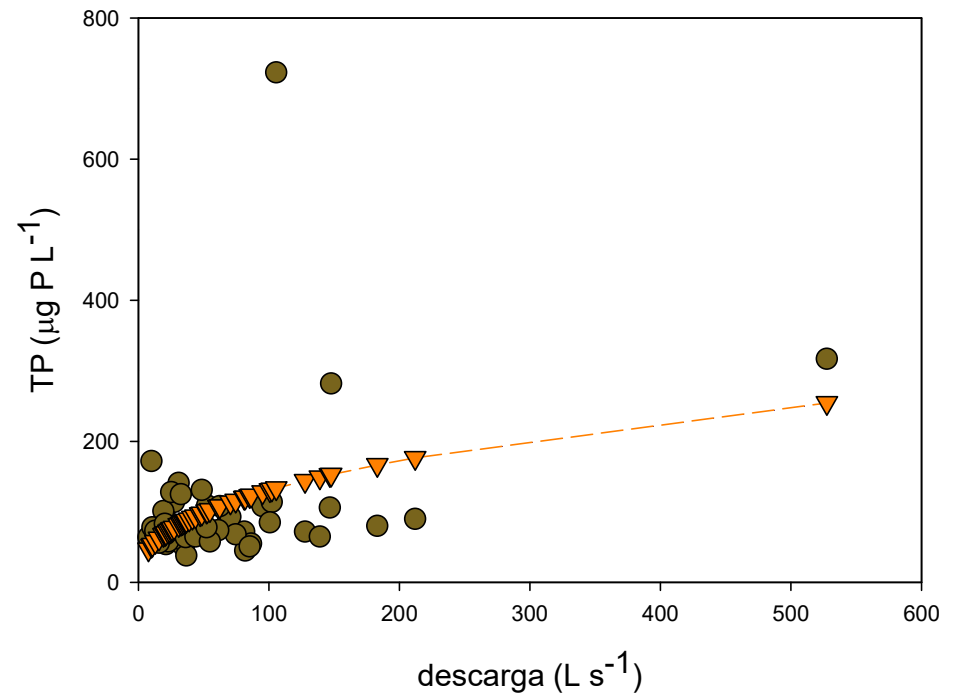
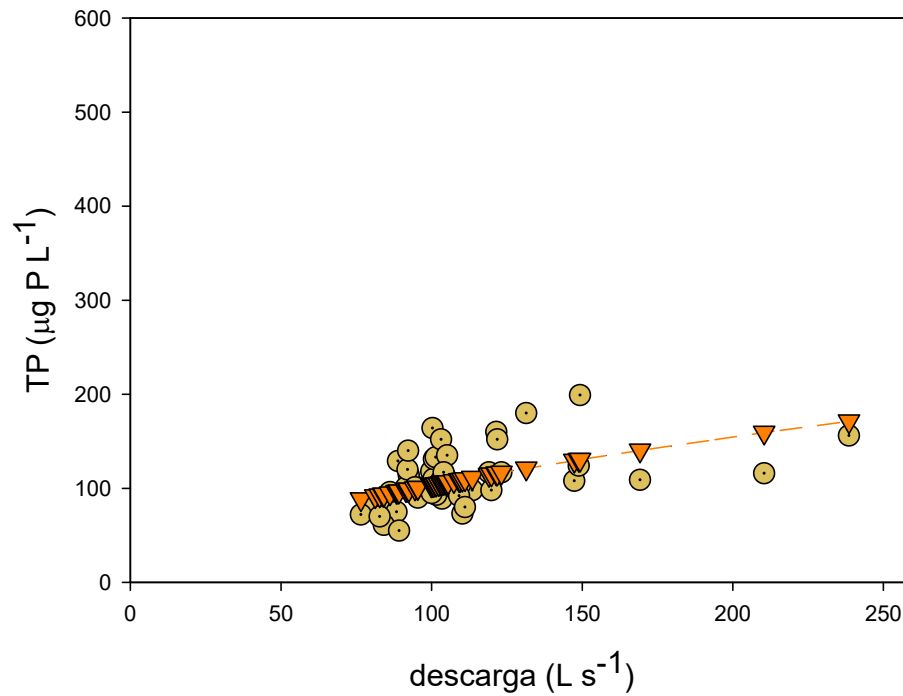
## Asignación a fuentes puntuales y difusas



Baja intensidad de uso

Muy alta intensidad de uso

Dinamarca



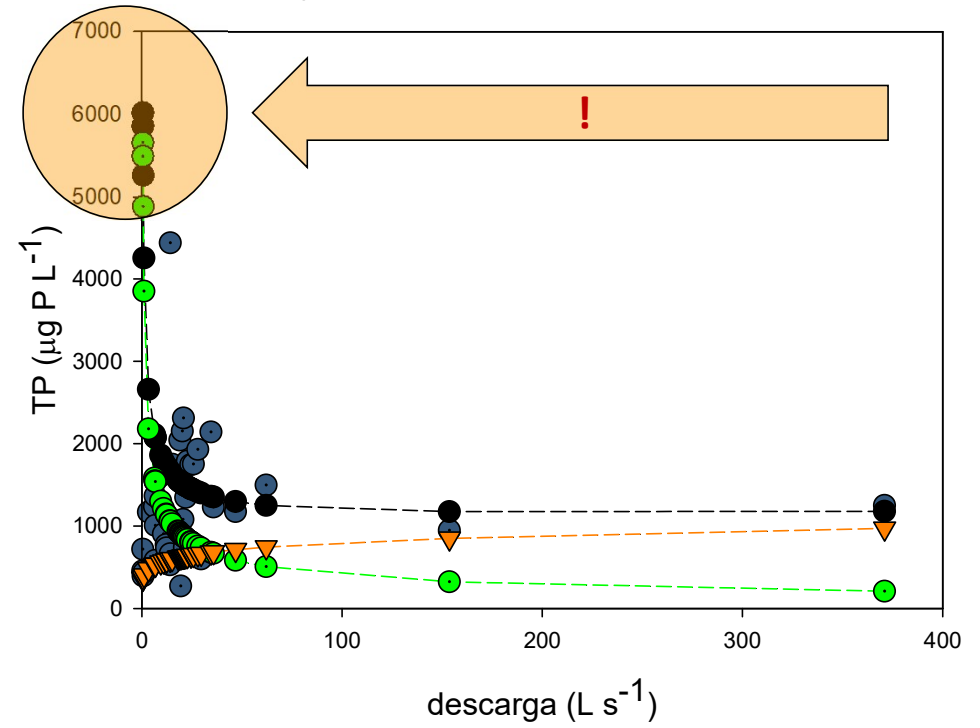
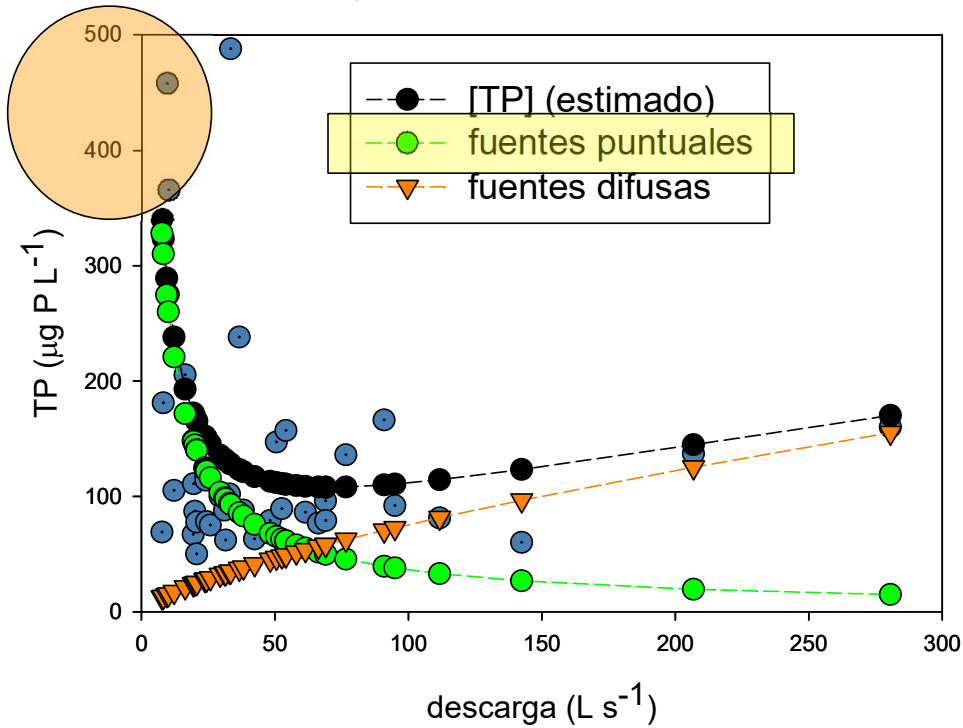
## Asignación a fuentes puntuales y difusas



Baja intensidad de uso

Muy alta intensidad de uso

Uruguay



Aún lo considerado cómo baja intensidad de uso (ganadería extensiva), genera impacto significativo sobre la calidad de agua.

La señal de fuente con comportamiento puntual es intensa en sistemas con baja y alta carga.

Existe suficiente evidencia científica para asegurar que en Uruguay la eutrofización es una externalidad causada por la actividad agrícola-ganadera y las carencias de los sistemas de tratamiento de efluentes.

Cualquiera de los dos tipos de aportes (urbano y productivo) por sí solos, son capaces de generar condiciones de eutrofización en el Uruguay actual, por lo tanto, preguntarse cuál de los aportes es el causante de la problemática no es pertinente.

...encontrar el compromiso adecuado entre la producción de alimentos y la generación de divisas, por un lado, y la conservación de los ecosistemas y disponer de agua adecuada para potabilizar, por otro, es uno de los mayores retos que enfrenta nuestra sociedad actualmente...

# P transfer continuum



“IMPACT” (2016)

Erik Johansson <https://www.erikjo.com/>



Guillermo Goyenola  
[goyenola@gmail.com](mailto:goyenola@gmail.com)



Laboratorio de  
**Ciencia de Cuencas  
y Limnología**  
del Antropoceno  
CATCHMENT SCIENCE · ANTHROPOGENE LIMNOLOGY

