

A wide river with a sandy bank and dense vegetation in the background. The water is a mix of brown and blue, reflecting the sky. The background shows a line of trees and a clear blue sky.

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS FINOS Y CROMO EN EL RÍO SALADO (SANTA FE)

Alfredo Trento (UNL)

*Universidad Nacional de Rosario
24 de octubre 2017*

Organización del seminario:

Objetivos

Motivación y caso en estudio

Trabajos de campo, laboratorio y modelación

Resultados de simulación para escenarios de escala anual y diaria

Conclusiones

Objetivos:

Mostrar resultados de trabajos de campo, de técnicas de laboratorio y determinación de los principales parámetros de los modelos (coeficientes de partición, espesor de la capa activa del lecho, coeficientes de dispersión y otros).

Presentar las ecuaciones del transporte de sedimentos y de cromo, y resultados de la implementación de modelos Eulereanos y Lagrangeanos de advección-dispersión, para dos situaciones diferentes, una de escala anual y otra de escala diaria.

Discutir resultados de trabajos de campo, de laboratorio y de modelación numérica.

Motivación

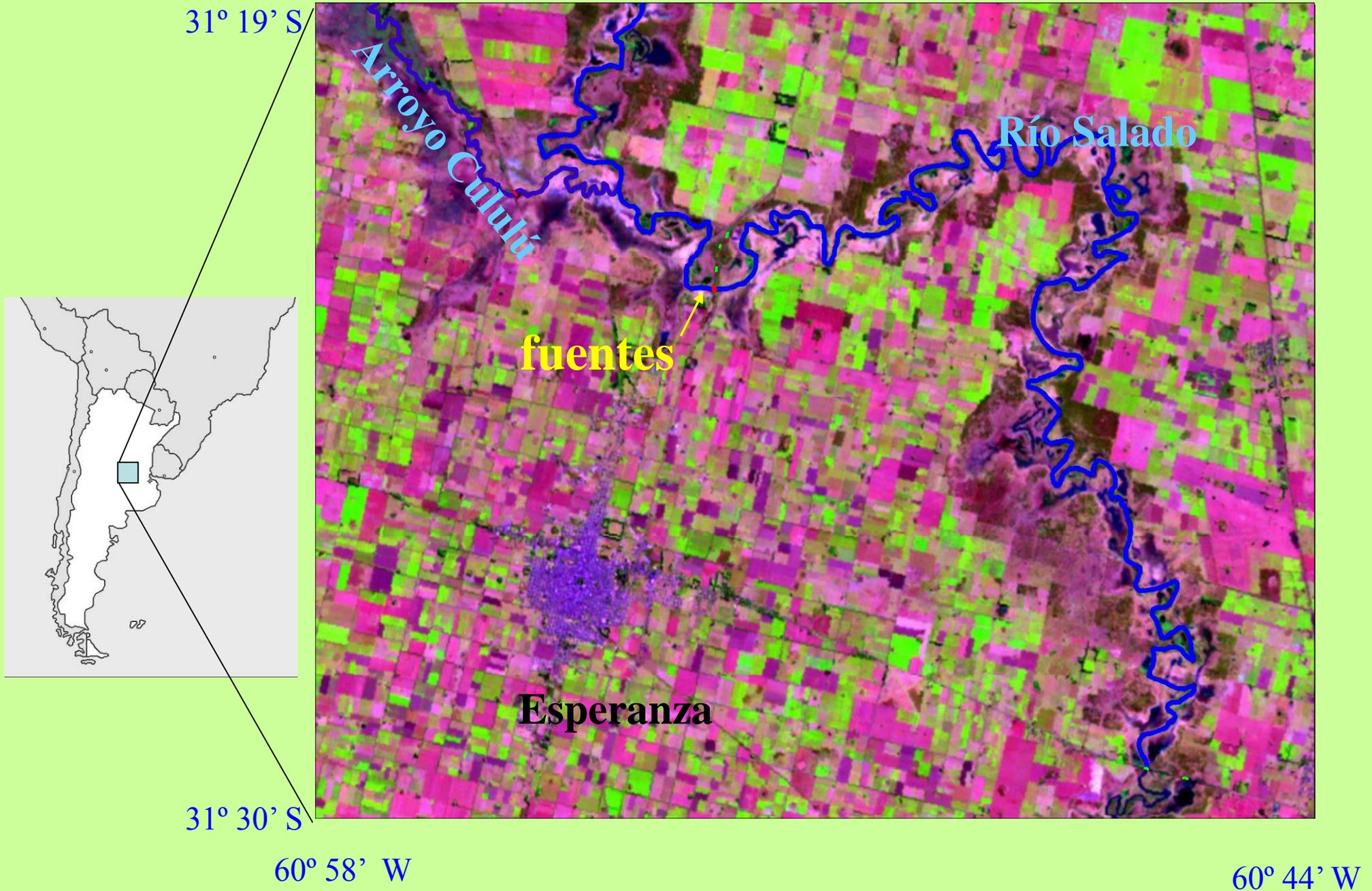
El **caso de estudio** refiere a una región del centro santafesino (la cuenca inferior del río Salado y algunos de sus sistemas tributarios) donde se asienta una de las principales cuencas lecheras de Latinoamérica. Se ha producido un crecimiento agro-industrial importante, destacándose las industrias alimenticias y en particular la láctea.

Motivación

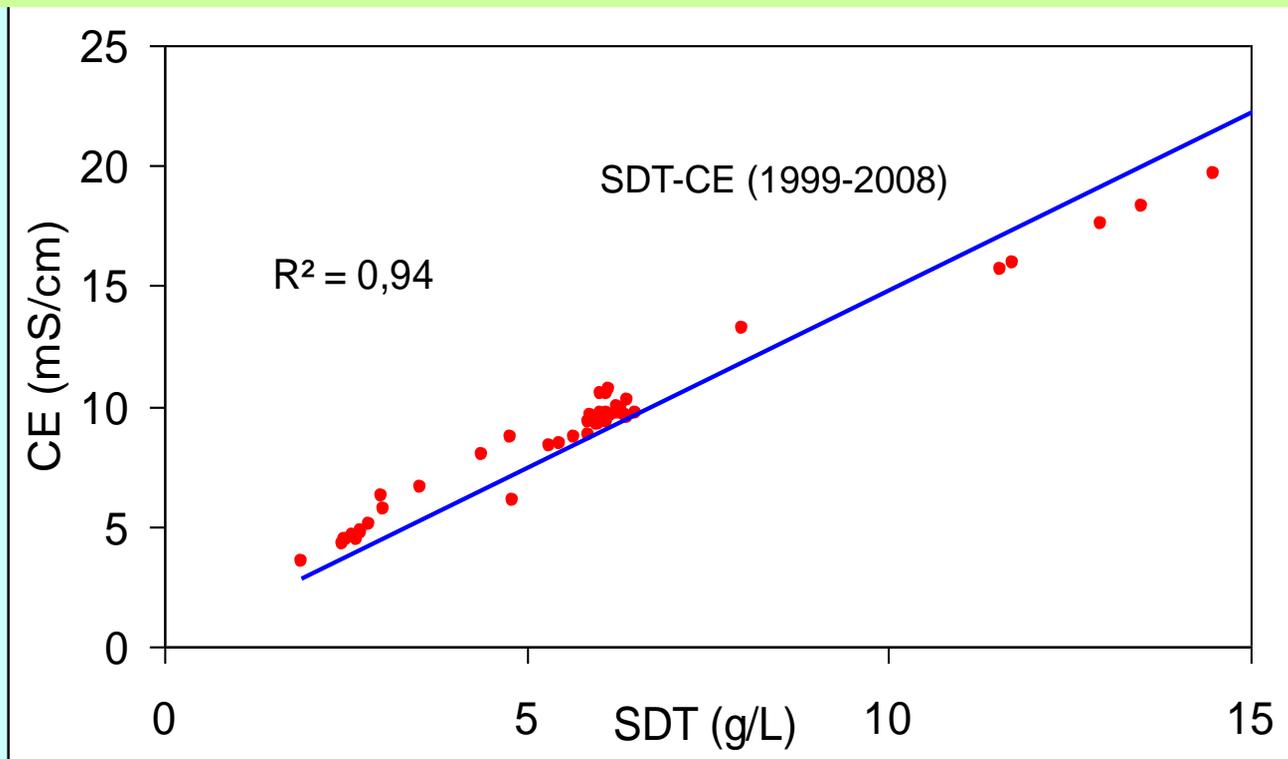
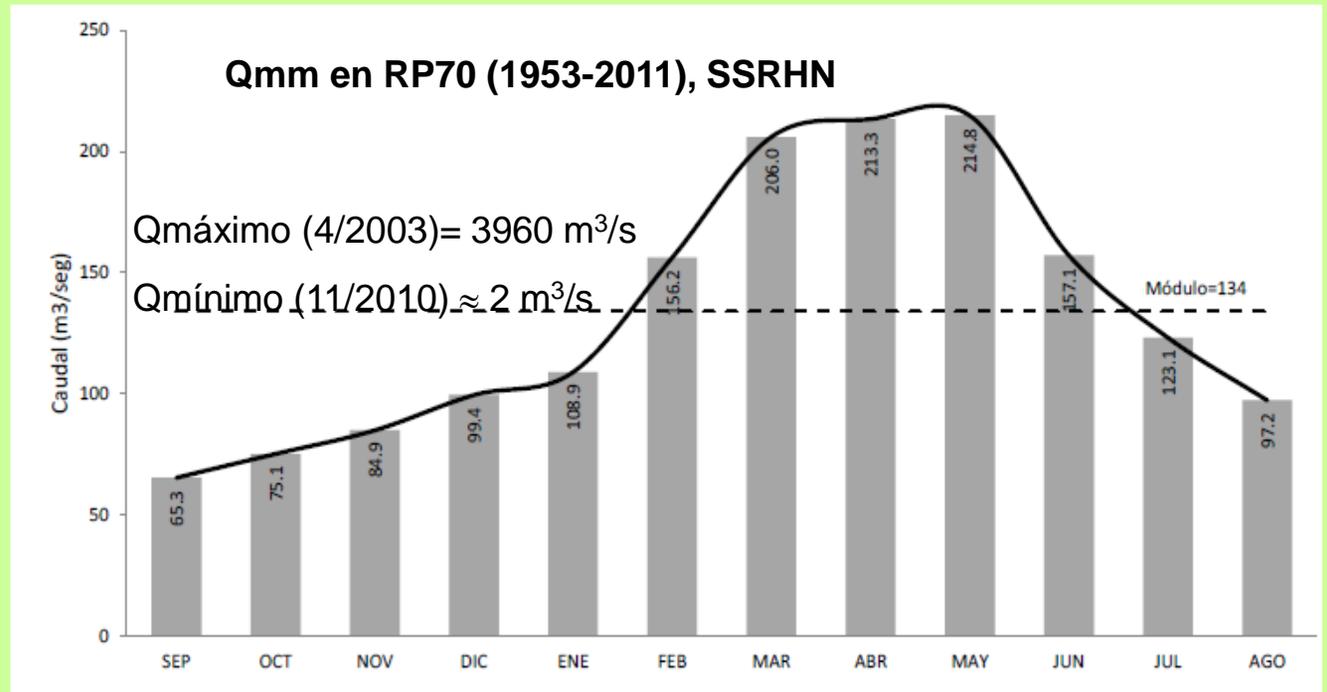
**Cauce principal, albardones
y planicie del río Salado**



Area de estudio – río Salado



Q medios mensuales



Motivación

la contaminación con Cr no es meramente un fenómeno local, su escala espacial excede la sección de vertido de la fuente,

el Cr puede ser transportado en forma disuelta y/o particulada asociado a los sedimentos finos,

el Cr es conservativo y pasivo,

en un estado de oxidación (Cr VI) es muy perjudicial para la biota en general.

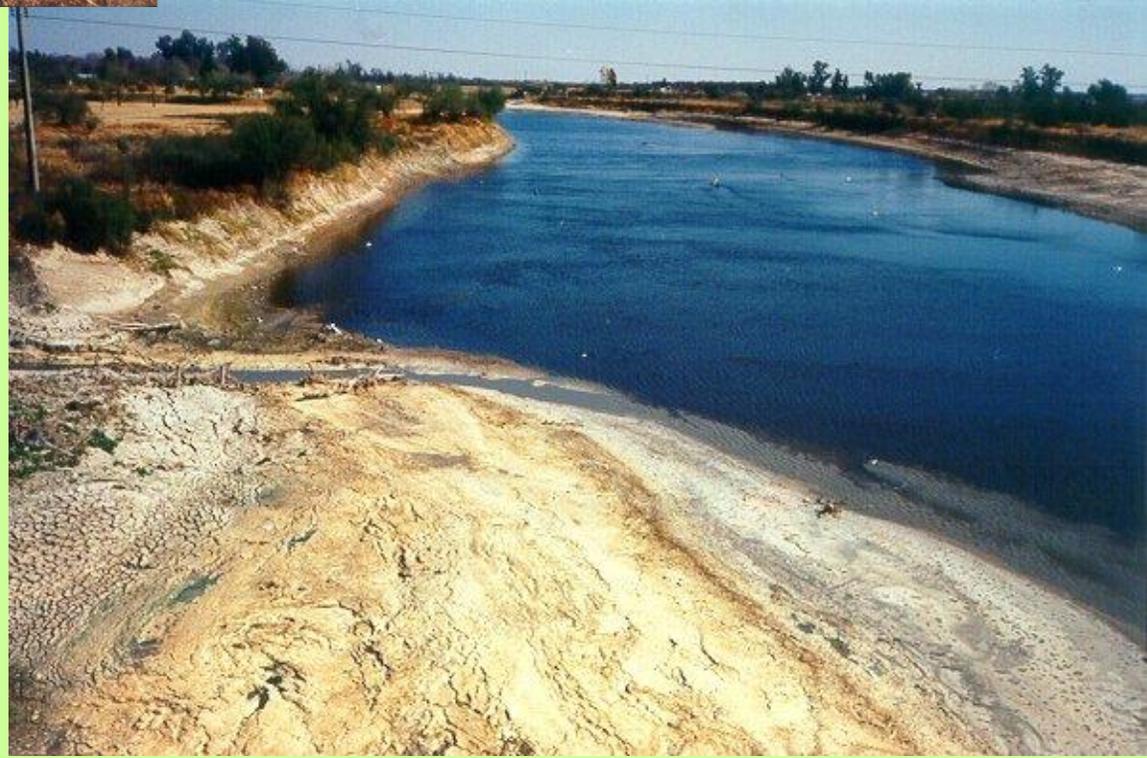
Motivación

Concentraciones de cromo total		
	columna de agua (μgL^{-1}) (Gallo <i>et al.</i> , 2006)	sedimentos del lecho (μgg^{-1})
cercanías de fuente :	1500	11000
aguas abajo fuente :	140	600
CMME*	8.9	37.3

* Valores Guía para protección de la vida acuática (Canadian Water Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment)



Descargas al rio Salado de lodos contaminados.



Pluma de descarga de efluentes industriales en el río Salado



Descarga de efluentes desde canal y fuente



Descargas desde canal y fuente (1999-2004).



Descarga subacuática de efluentes en el río Salado



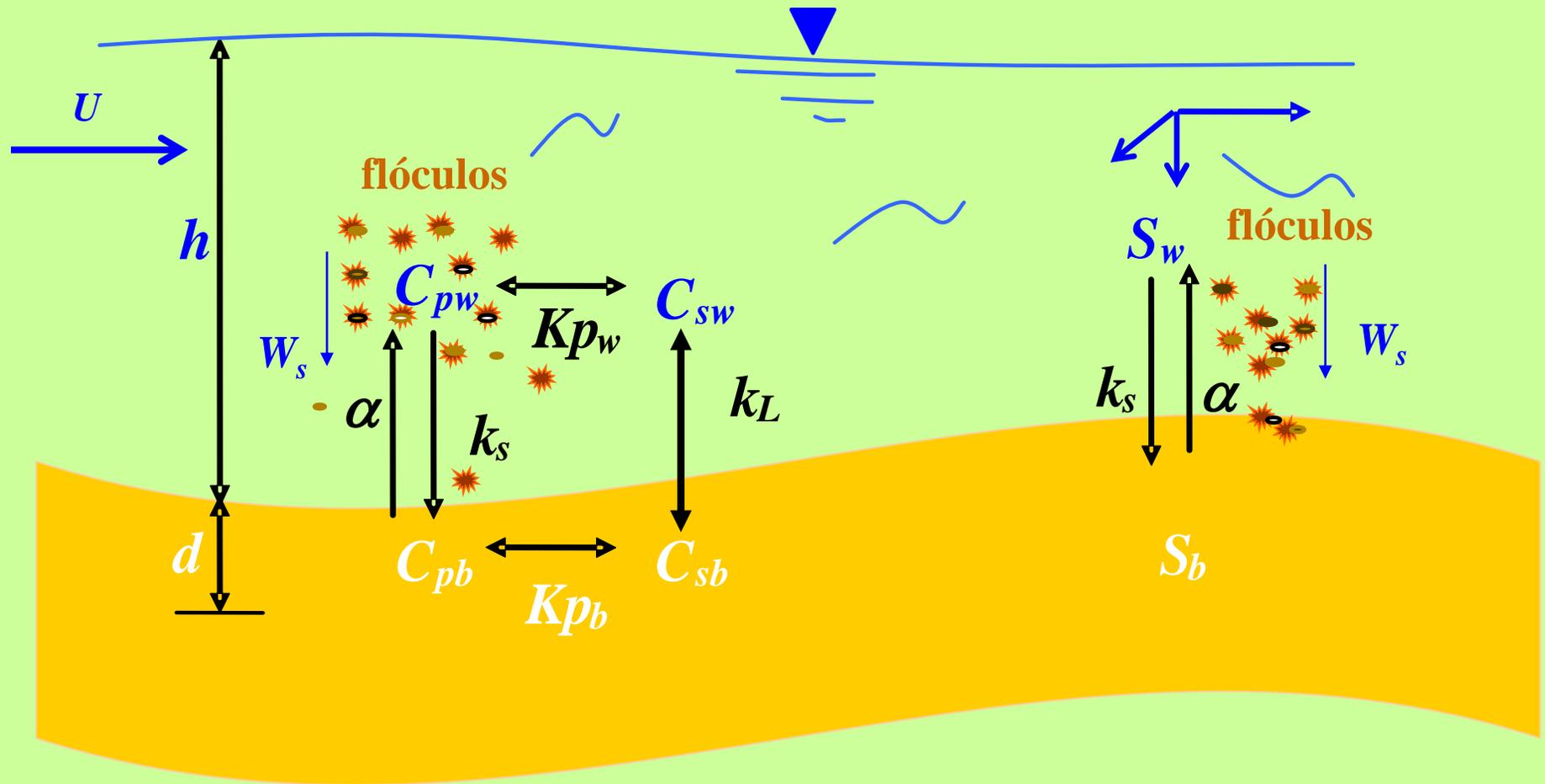
Escenario de la fuente en 2010, en aguas muy bajas



Descarga de efluentes desde conducto cloacal



Modelo conceptual para metales pesados y sedimentos (flóculos y partículas) modificado de Schnoor, 1996.



Modelo Matemático para ambientes fluviales (2DH)

concentraciones finos en agua

$$\frac{\partial S_w}{\partial t} + \frac{\partial US_w}{\partial x} + \frac{\partial VS_w}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h \frac{\partial S_w}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h \frac{\partial S_w}{\partial y} \right) + \frac{m_e}{h} - \frac{m_d}{h}$$

concentraciones MP agua

$$\frac{\partial C_T}{\partial t} + \frac{\partial UC_T}{\partial x} + \frac{\partial VC_T}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h \frac{\partial C_T}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h \frac{\partial C_T}{\partial y} \right) + \frac{k_L}{h} (C_{sb} - C_{sw}) + \frac{\alpha}{\gamma} C_{pb} - k_s C_{pw}$$

concentraciones MP lecho

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \left[-\frac{k_L}{d} \frac{\left(\frac{r}{Kp_b} - \frac{C_T}{1 + S_w Kp_w} \right)}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} + \frac{k_s \gamma C_T \frac{S_w Kp_w}{1 + S_w Kp_w}}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} - \frac{r \alpha S_b}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} \right]$$

Hipótesis

EQUILIBRIO INSTANTÁNEO

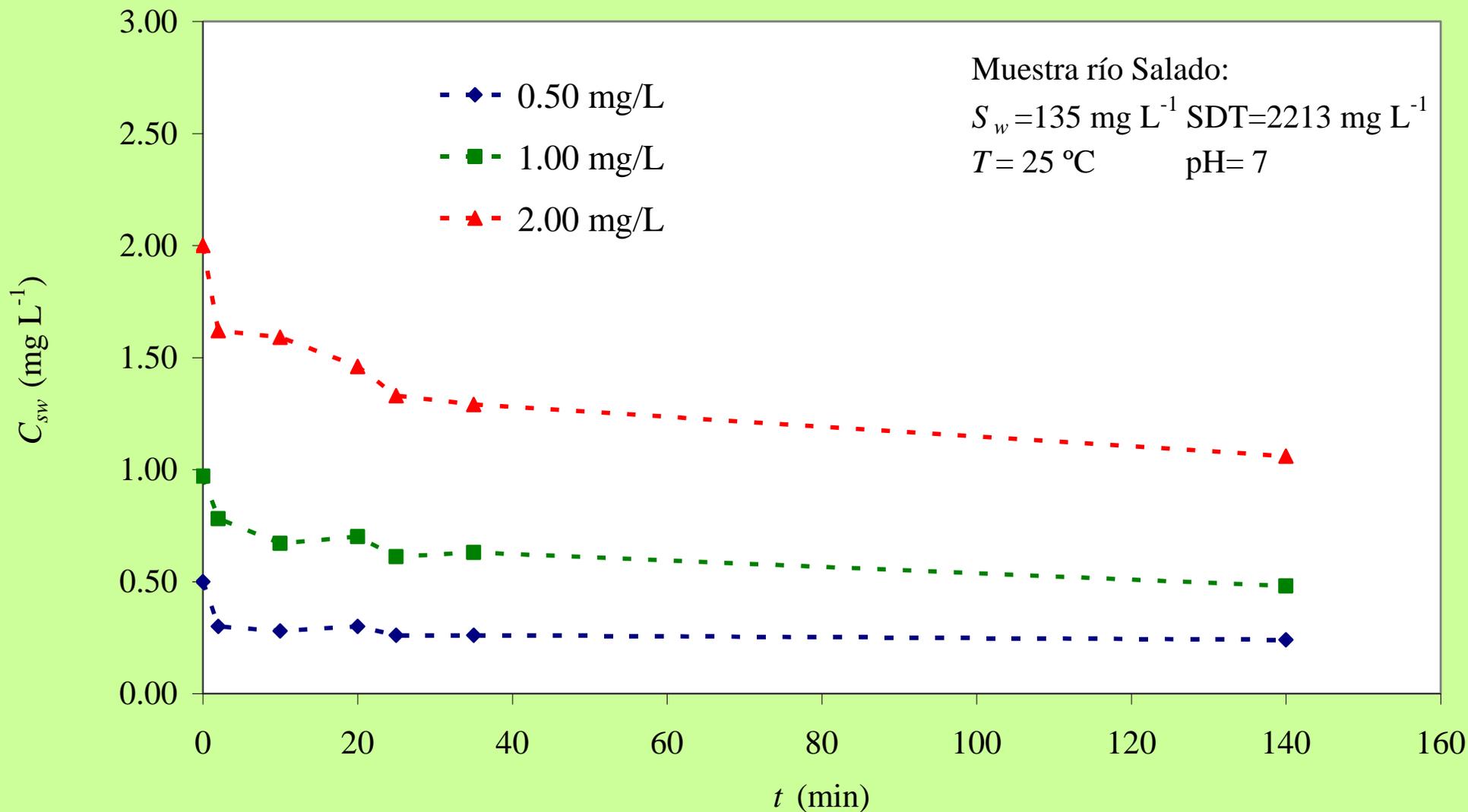
escala de tiempo del transporte >> escala de la cinética de sorción

⇒ relación entre las fases solubles y particuladas del MP quedan expresadas por los coeficientes de partición.

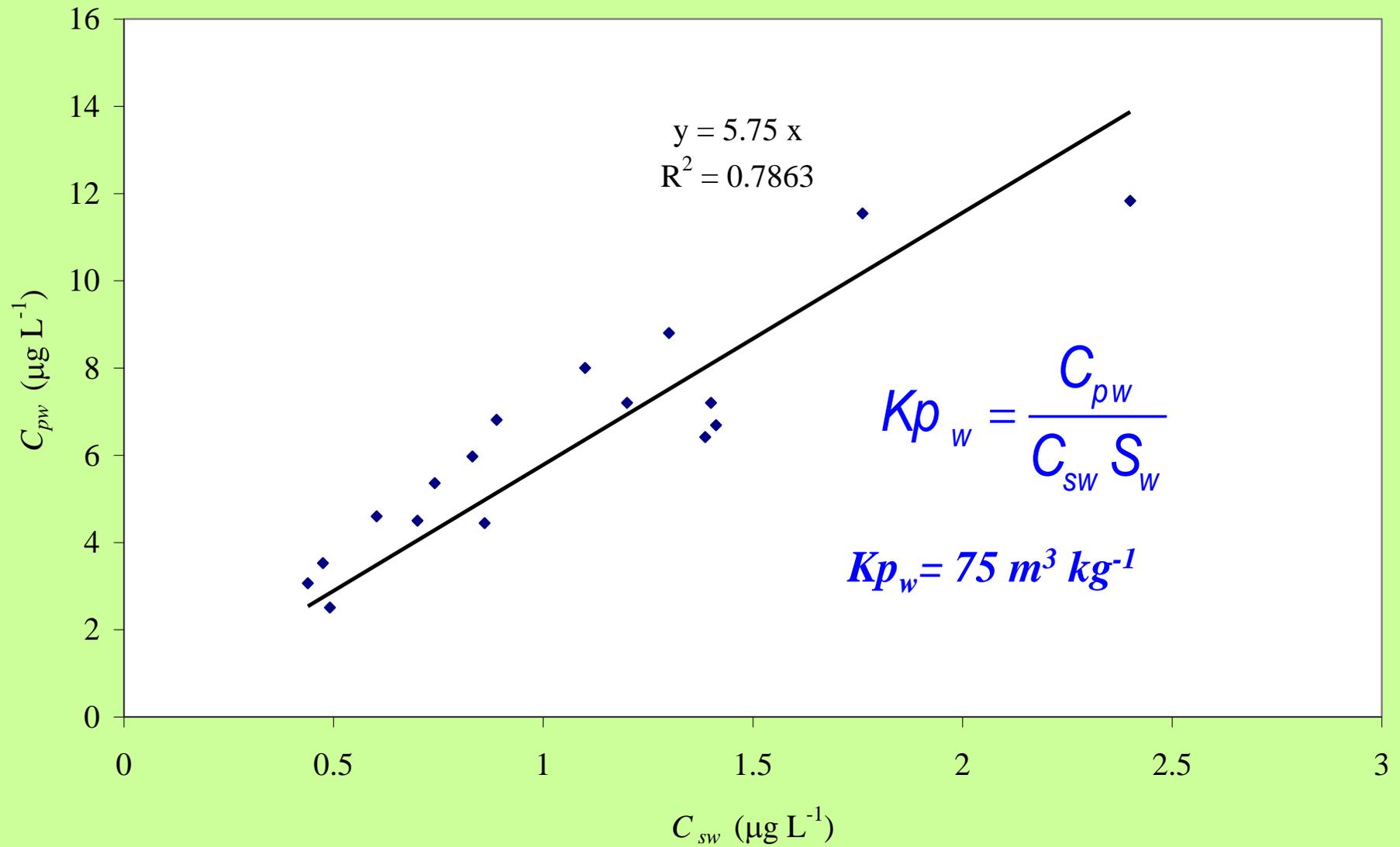
Se consideran los procesos:

Físico-Químicos: DIFUSION. SORCION intercambio entre la forma particulada y la fase acuosa sólo por mecanismos de adsorción y desorción. La cinética de **sorción** es distinta en el lecho que en el agua.

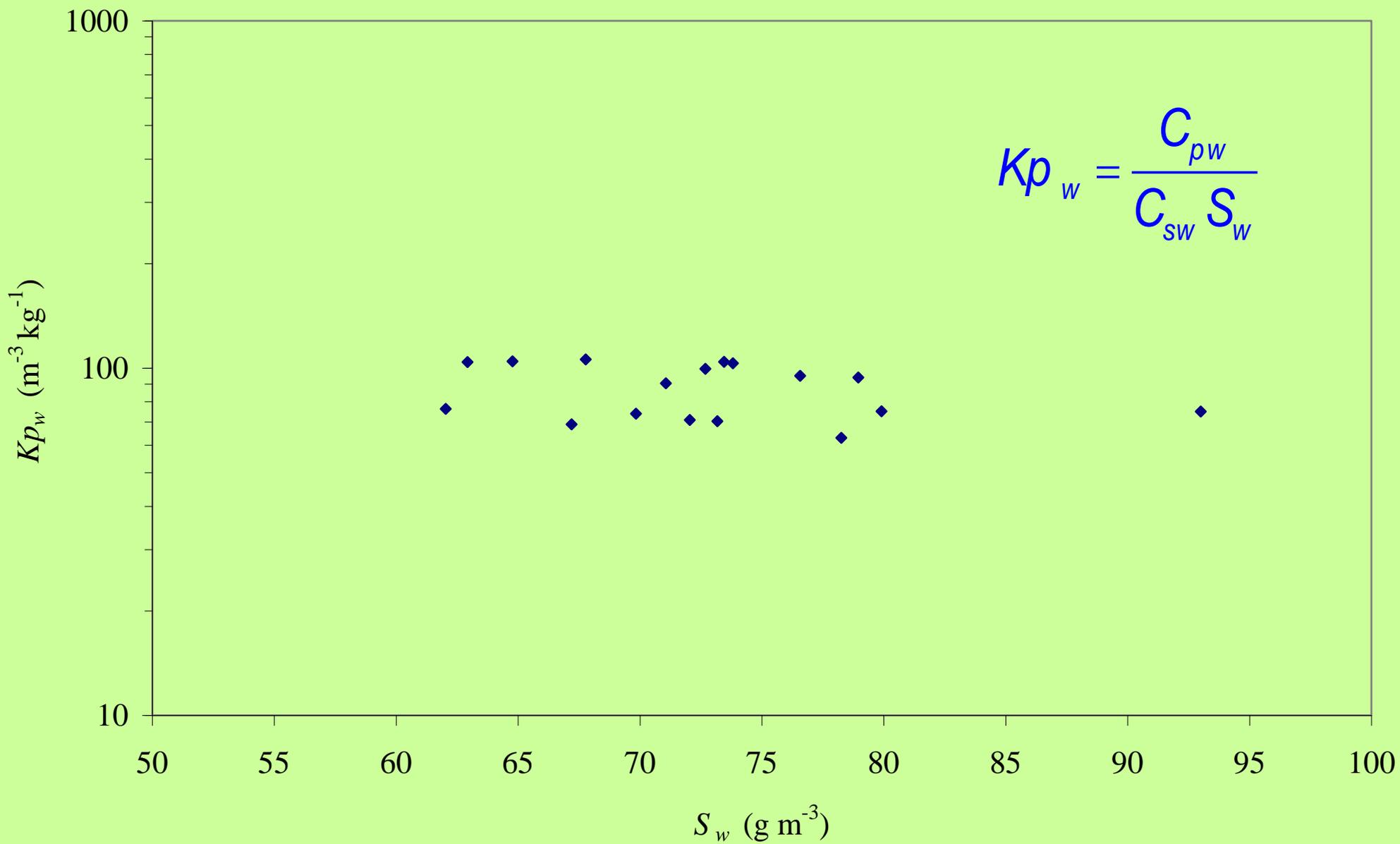
Físicos: ADVECCION, DISPERSION, DEPOSITACION, EROSION, RESUSPENSION.



Verificación del tiempo de equilibrio instantáneo. $t - C_{sw}$ para Cr
(tesis Maestría Alvarez, 2012)



C_{sw} vs C_{pw} . Muestras colectadas el 24/11/2008, pH= 7-8, SDT= 6100 mg L⁻¹.



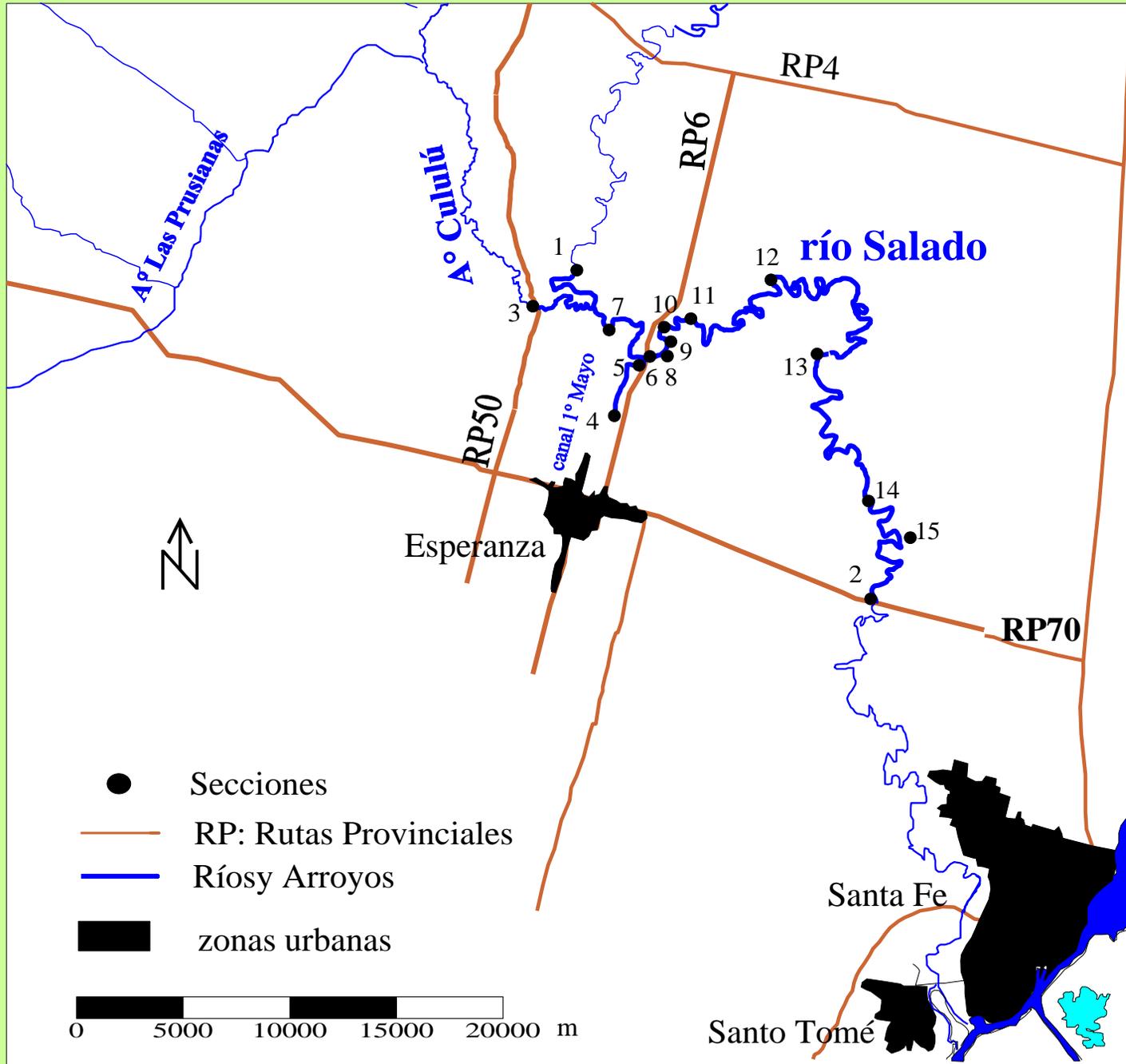
S_w vs Kp_w . Muestras colectadas el 24/11/2008, pH= 7-8, SDT= 6100 mg L⁻¹

Hipótesis (cont.):

- No se considera la dinámica de formas de fondo ni bioturbación del lecho por fauna béntica.
- S_b y la capa activa del lecho, d , son constantes.
- No se consideran los procesos de: volatilización, biodegradación ni procesos biogeoquímicos, ni especiación de metales

Trabajos de Campo...

31° 14' S



31° 43' S

61° 12' W

60° 39' W



Verticales de muestreo

Trabajos de Campo



- **Recolección muestras de agua**
- **medición de variables calidad de aguas *in situ***
- **medición de velocidades del agua, batimetrías, cotas pelo de agua y caudales.**

Muestras de sedimentos del lecho



Mediciones con difractómetro laser LISST 25X y sonda de turbiedad



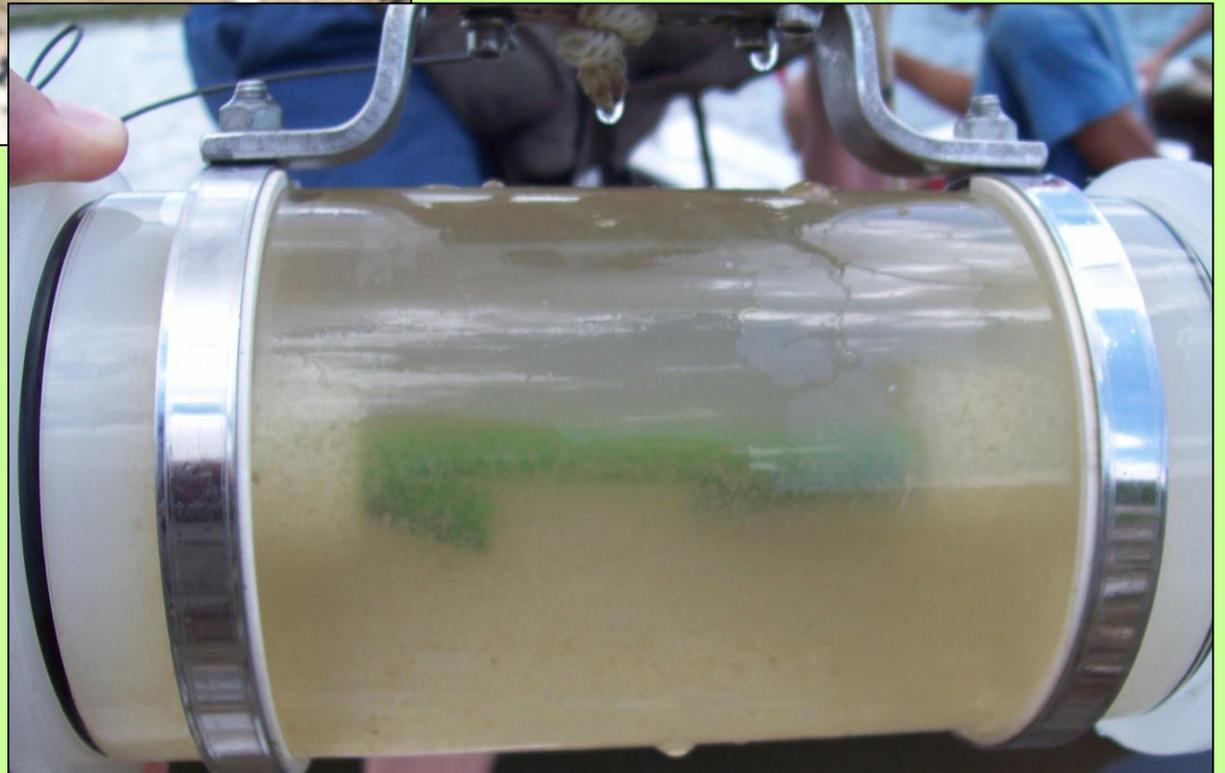
CAMPO, sensor laser y sonda de turbiedad





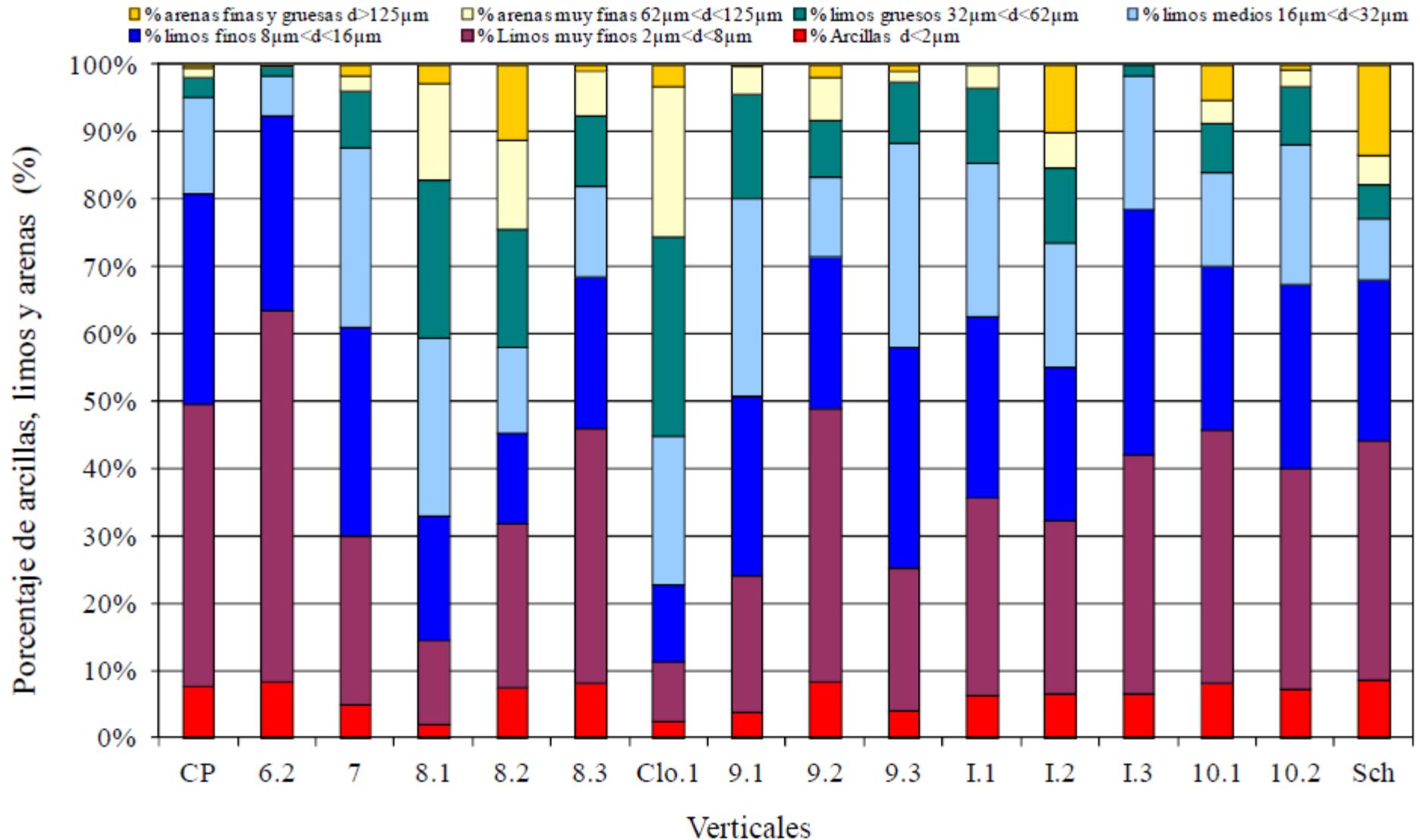
Pluma de
sedimentos y
flóculos, 150m
aguas abajo de la
fuente ppal.

Muestra de
agua, 150 m
aguas abajo
de la fuente
ppal.



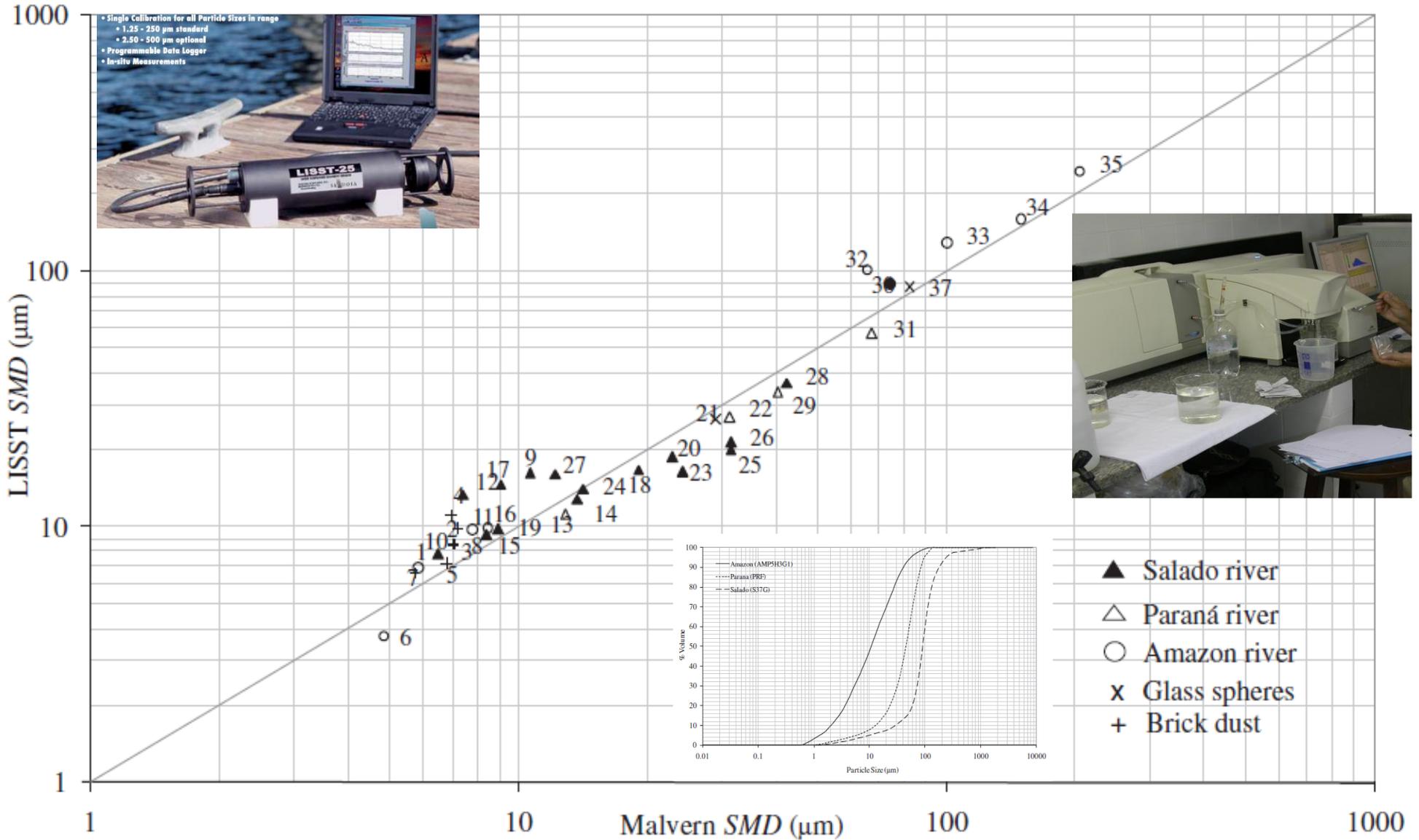
Trabajos de Laboratorio...

Granulometría de sedimentos suspendidos del río Salado (Santa Fe), analizados por difracción laser



Resultados calibración difractómetro

L. Filippa et al. / *Sedimentary Geology* 238 (2011) 268–276



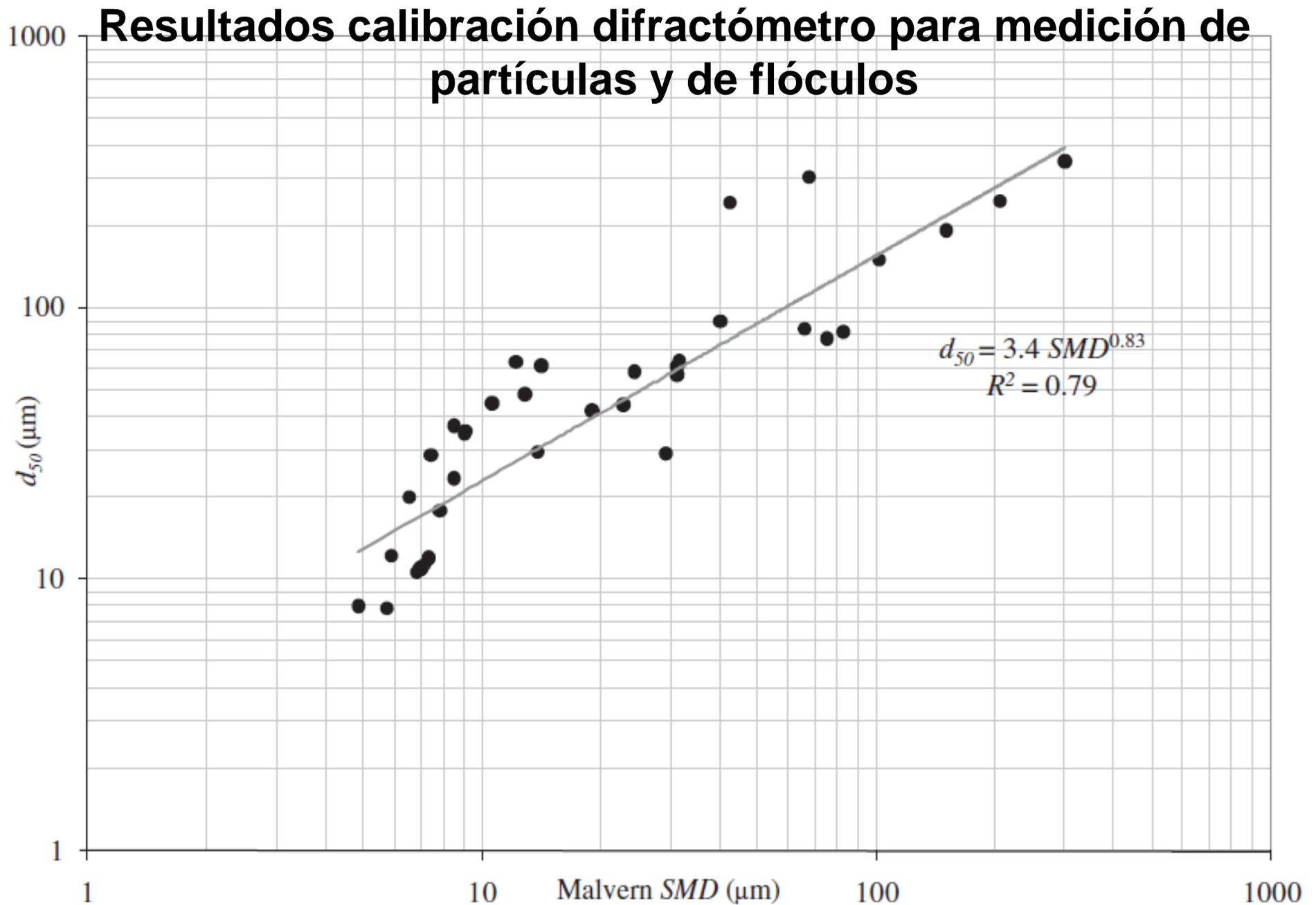
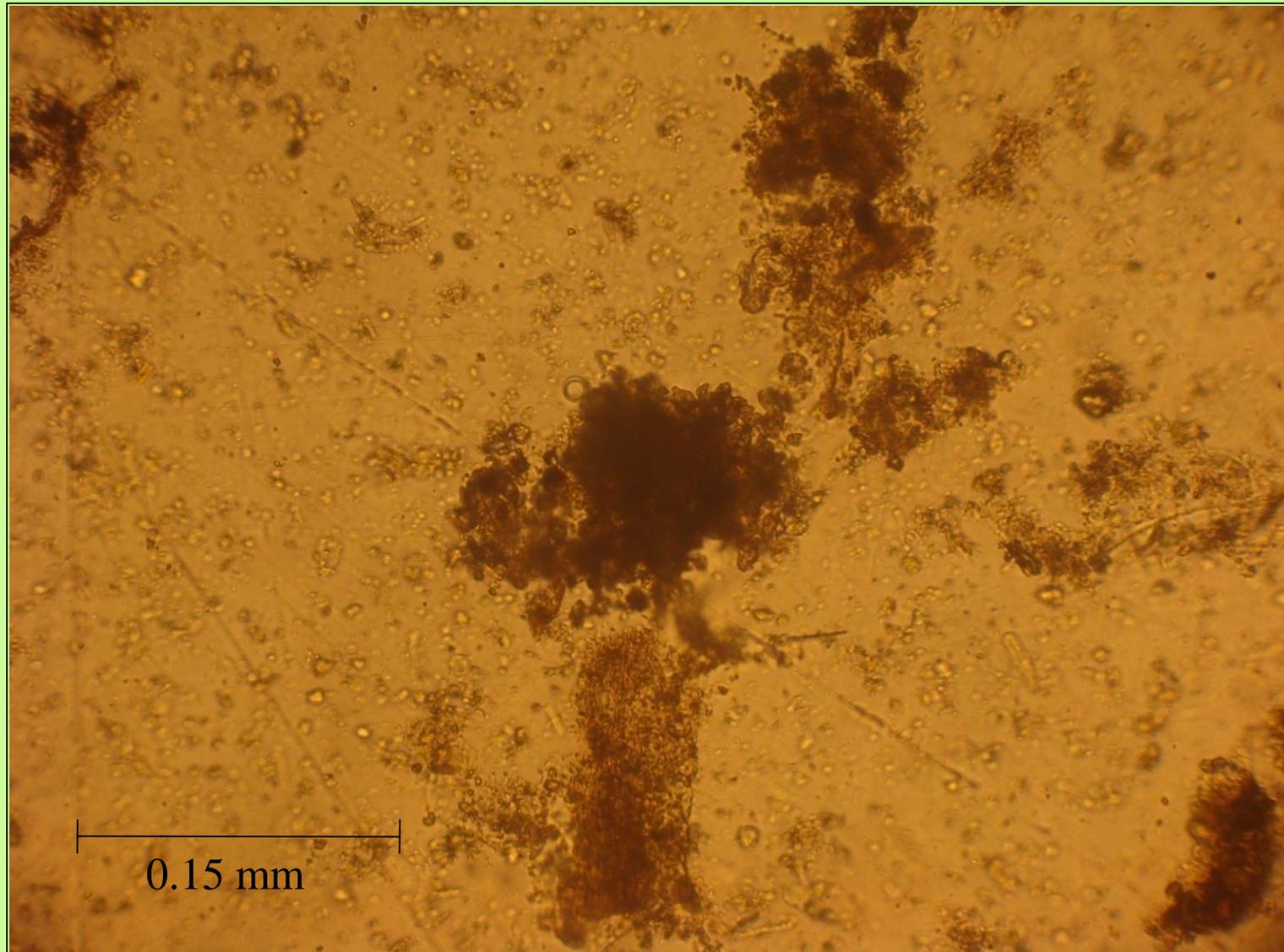


Fig. 8. Relationship between SMD and d_{50} , both measured with Malvern.

Flóculos generados en laboratorio con agua y sedimentos del río

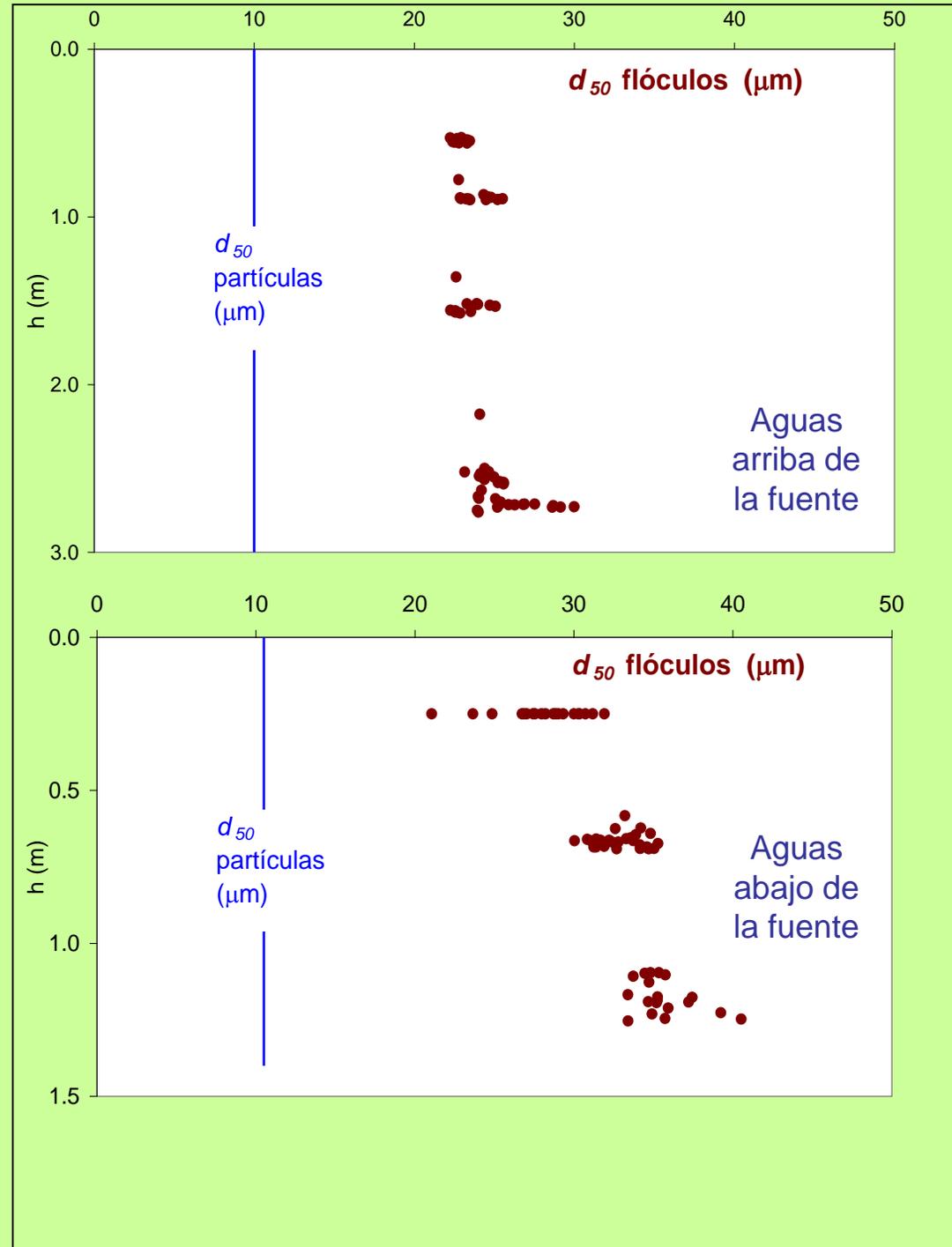


Medición de la floculación

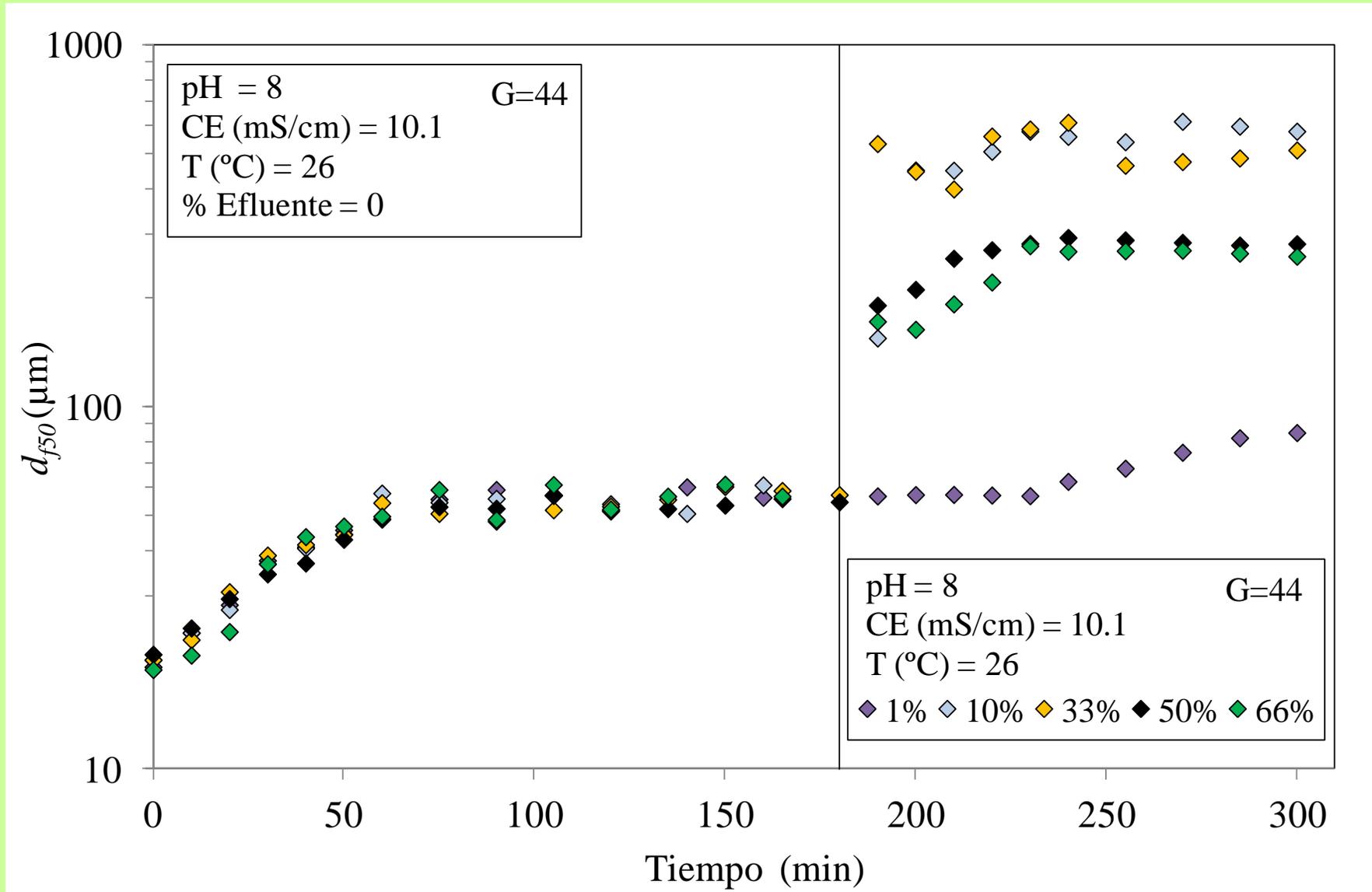
La importancia de la floculación para el transporte de sedimentos y de cromo sorbido queda en evidencia en:

1- la relación entre las fracciones soluble y particulada.

2- la comparación de tamaños entre los flóculos abajo de la fuente en relación con los de aguas arriba.



Diámetro mediano, d_{f50} en función del tiempo.



Simulación a escala anual...

Modelo Matemático de Transporte de sedimentos finos y MP, con equilibrio instantáneo, para ambientes fluviales.

$$\frac{\partial S_w}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial (UAS_w)}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_L A \frac{\partial S_w}{\partial x} \right) - \frac{1}{h} (m_d - m_e) + F_s$$

advección dispersión depositación erosión fuente

$$\frac{\partial C_T}{\partial t} = -\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (UAC_T) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(D_L A \frac{\partial C_T}{\partial x} \right) + \frac{k_L}{h} (C_{sb} - C_{sw}) + r \frac{\alpha}{h/d_a} S_b - k_S C_T f_{pw} + F_c$$

Difusión
columna-poros erosión depositación fuente

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \left[-k_L \frac{(C_{sb} - C_{sw})}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} + \frac{k_S C_T h f_{pw}}{d_a \left(\frac{1}{Kp_b} + S_b \right)} - \frac{r \alpha S_b}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} \right]$$

Difusión columna-poros depositación erosión

Variables

S_w = concentración de sólidos suspendidos totales [$M L^{-3}$].

$$S_w = \frac{\text{masa de sedimentos}}{\text{volumen de agua}}$$

C_T = concentración total MP en la columna de agua [$M_{MP} L^{-3}$].

$$C_T = C_{sw} + C_{pw}$$

r = MP sorbido por unidad de masa seca del lecho [$M_{MP} M^{-1}$].

$$r = \frac{C_{pb}}{S_b}$$

S_b = concentración de sólidos del lecho [$M L^{-3}$]

Parámetros y variables relevantes del Modelo

Kp_w = coeficiente de partición de MP en la columna de agua

$$Kp_w = \frac{C_{pw}}{S_w C_{sw}} \quad [L^3 M^{-1}]$$

Kp_b = coeficiente de partición de MP en lecho

$$Kp_b = \frac{r}{C_{sb}} = \frac{C_{pb}}{S_b C_{sb}} \quad [L^3 M^{-1}]$$

$$S_b = \rho_s (1 - \phi) \quad [M L^{-3}]$$

ρ_s : densidad del sedimento $[ML^{-3}]$ ϕ : porosidad del sedimento.

Deposición, según la ecuación de Nicholas et al. (2006)

$$m_d = S_w \left\{ \lambda W_s \left[1 - \left(\frac{U_m}{U_{cr}} \right)^2 \right] \right\} \quad \text{para } U_m < U_{cr}$$

Erosión, según la ecuación de Ariathurai (1976)

$$m_e = M \left(\frac{\tau_b}{\tau_e} - 1 \right) \quad \text{para } \tau_b > \tau_e$$

$$m_e = 0 \quad \text{para } \tau_b < \tau_e$$

$$E_{Long} \gg E_{Transv} \gg E_{Vert} \quad \longrightarrow$$

1D

Escalas espaciales del transporte

$$E_{long} = L \approx 10^5 \text{ m}$$

$$E_{transv} = W \approx 10^2 \text{ m}$$

$$E_{vert} = h \approx 10^0 \text{ m}$$

$$T_{Long} \gg T_{Transv} \gg T_{Vert} \quad \longrightarrow$$

1D

Escalas temporales de mezcla (Trento & Alvarez, 2011)

$$T_{Long} = \frac{L}{U} \approx 7 \text{ dias}$$

$$T_{transv} = \frac{W^2}{\varepsilon_t} \approx 12 \text{ horas}$$

$$T_{vert} = \frac{h^2}{\varepsilon_v} \approx 1.0 \text{ horas}$$

Dif. Transv. $\varepsilon_t = k u_* h$, con $k > 0.6$
Dif. Vert. $\varepsilon_v = 0.06 u_* h$
(Fischer et al, 1979)

$$L_m = 0.1 \frac{UW^2}{\varepsilon_t} \approx 700 \text{ m}$$

Longitud mezcla completa en aguas bajas

Implementación del modelo numérico (esquema Quickest)

A numerical model for the transport of chromium and fine sediments, 2011, A. Trento and A. Alvarez, *Environmental Modeling and Assessment*, 16, 6, 551-564. doi: 10.1007/s10666-011-9263-5.

Condiciones de bordes

Aguas arriba, en $x=0$: $Q(0,t)=f(h)$; $S_w(0,t)=f(Q)$; $C_T(0,t)=2 \text{ mg/m}^3$

Aguas abajo, en $x=L$: $[\partial S_w / \partial x]_L = 0$; $[\partial C_T / \partial x]_L = 0$

Condiciones iniciales: $S_w(x,0) = S_{wi}$ $C_T(x,0) = C_{Ti}$ $r(0) = r_i$

Condiciones de erosión: $\tau_e = 0.47 \text{ N m}^{-2}$, $M = 4 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Condiciones de depositación: $U_{cr} = 0.15 \text{ m s}^{-1}$ $\lambda = 0.30$

La descarga de sedimentos y de Cr total de la fuente se definieron en base a sendas curvas sinusoidales $t-S_w$ y $t-C_T$, en un rango de 0 a 24 hs.

Implementación del modelo numérico (esquema Quickest)

A numerical model for the transport of chromium and fine sediments, 2011, A. Trento and A. Alvarez, *Environmental Modeling and Assessment*, 16, 6, 551-564. doi: 10.1007/s10666-011-9263-5.

$$\Delta x = 100 \text{ m}; \Delta t = 120 \text{ s}$$

$$Kp_w = 50 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad Kp_b = 10 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$d = 0.01 \text{ m}$$

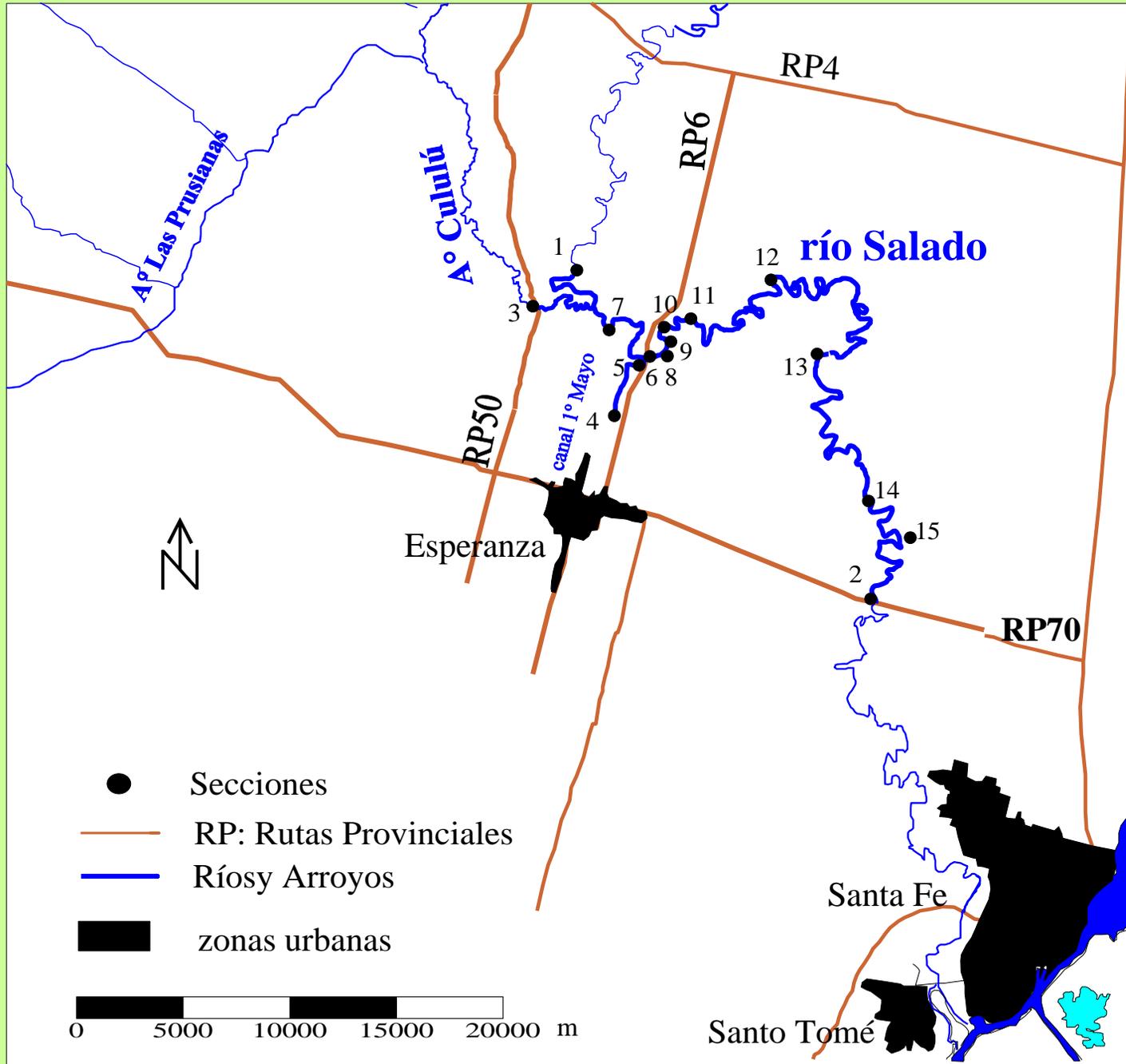
$$k_s = 2.79 \cdot 10^{-6} \text{ 1/s}; \quad k_L = 5.0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$S_b = 1200 \text{ kg/m}^3$$

W_s y d_f se calculan

La descarga de sedimentos y de Cr total de la fuente se definieron en base a sendas curvas sinusoidales $t-S_w$ y $t-C_T$, en un rango de 0 a 24 hs.

31° 14' S

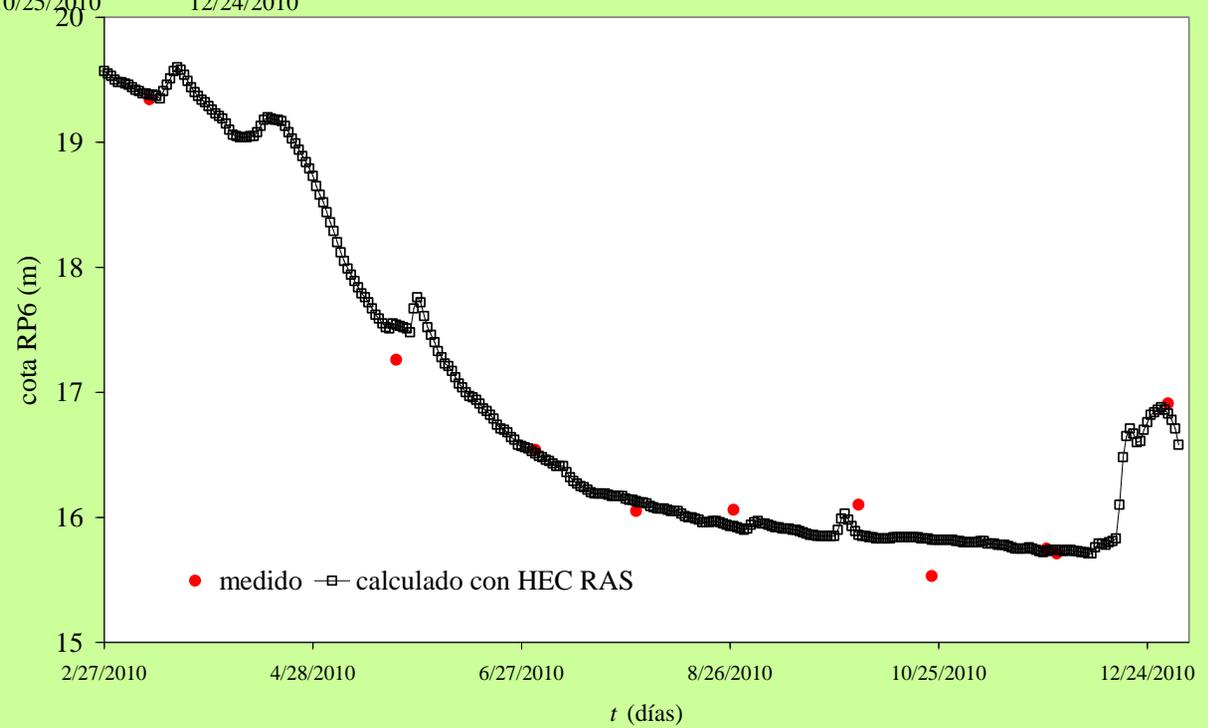
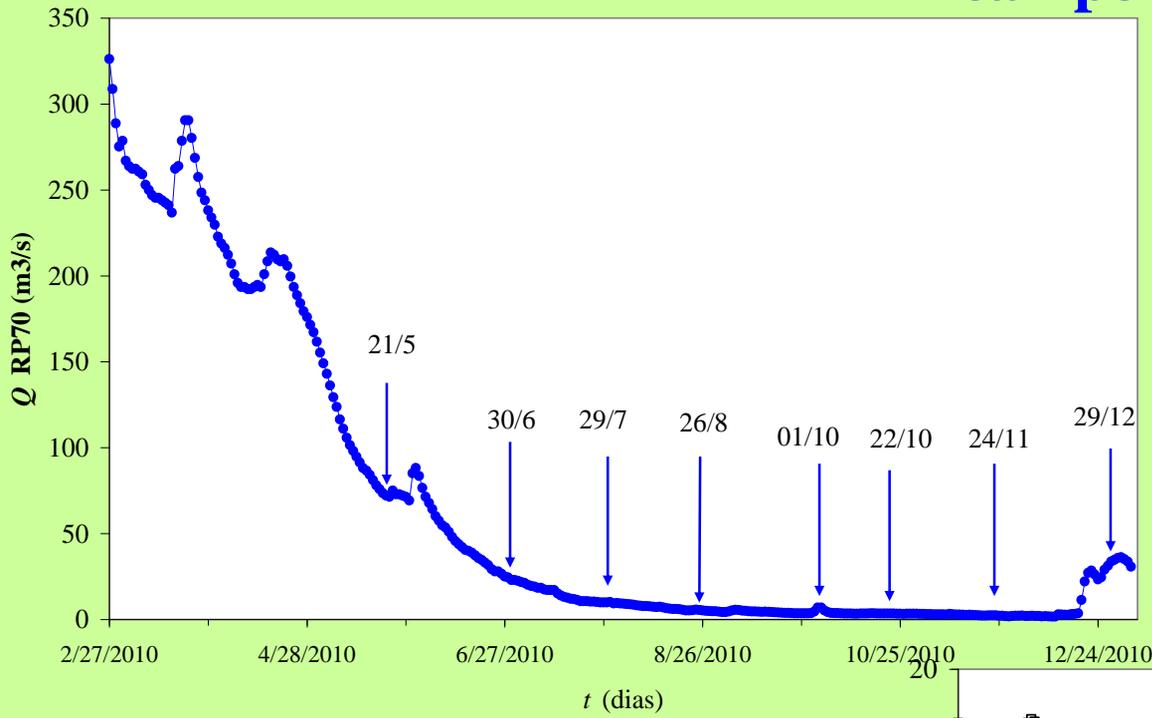


31° 43' S

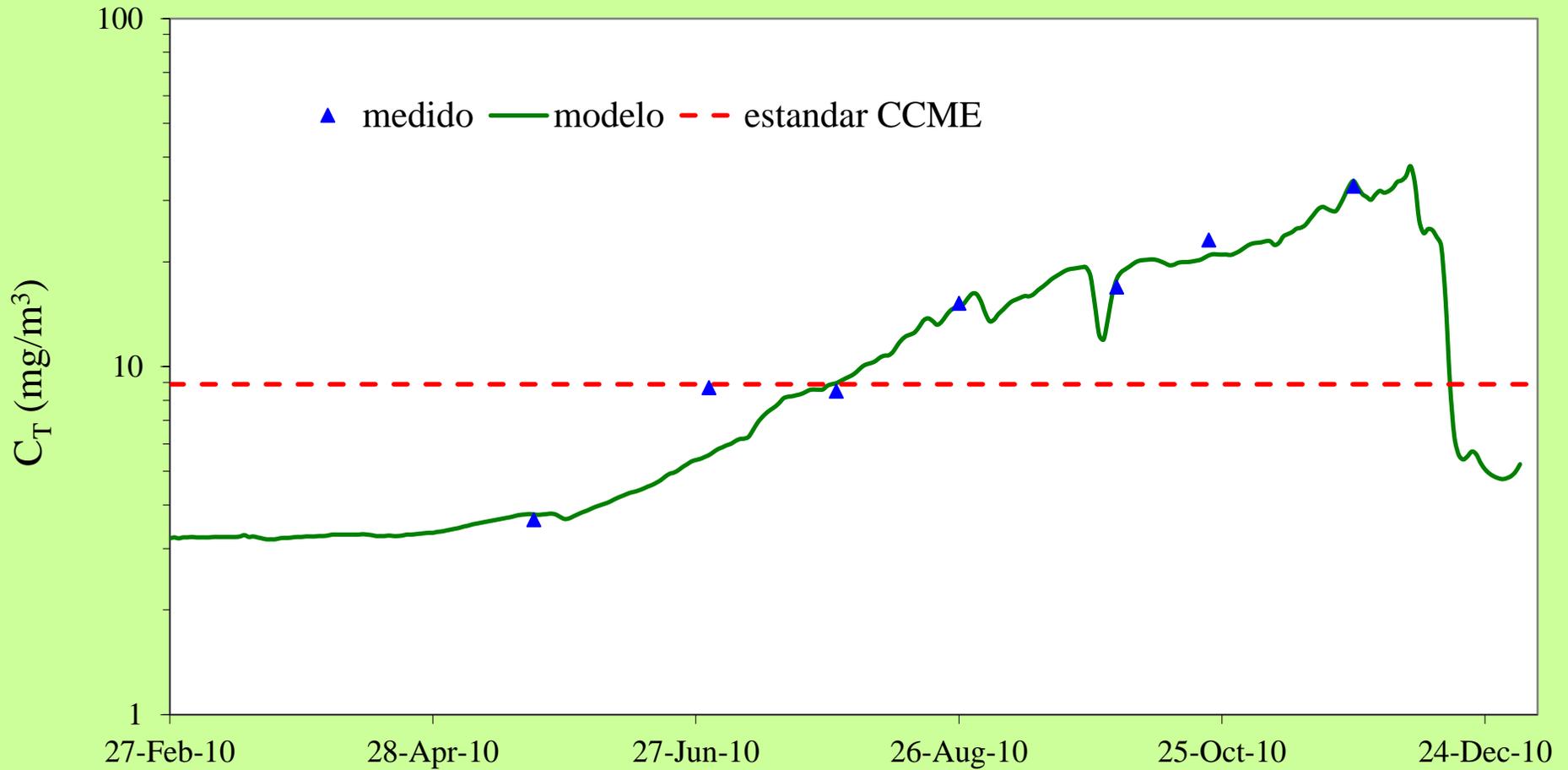
61° 12' W

60° 39' W

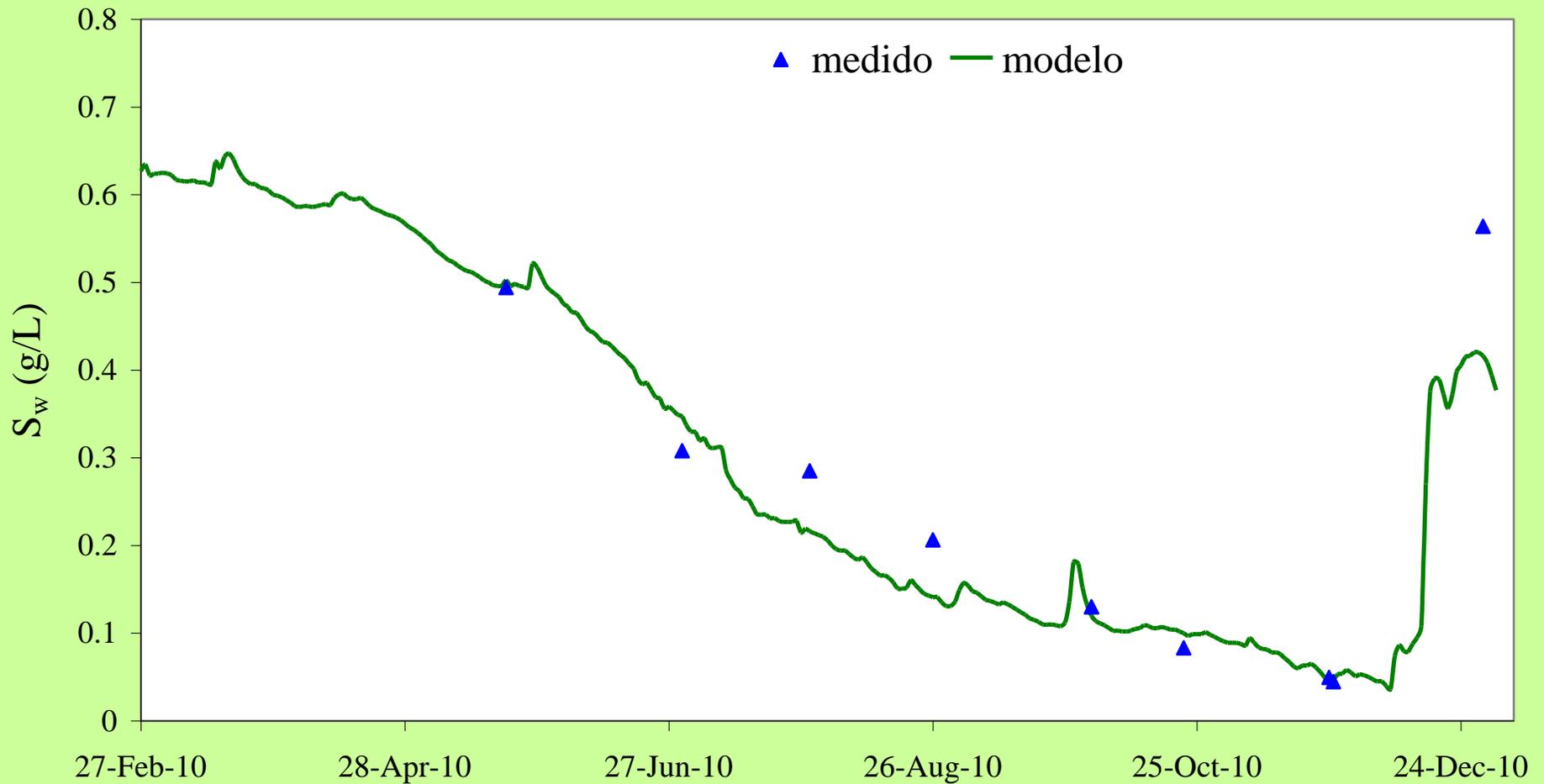
Caudales calculados en la sección de RP70 y mediciones en trabajos de campo



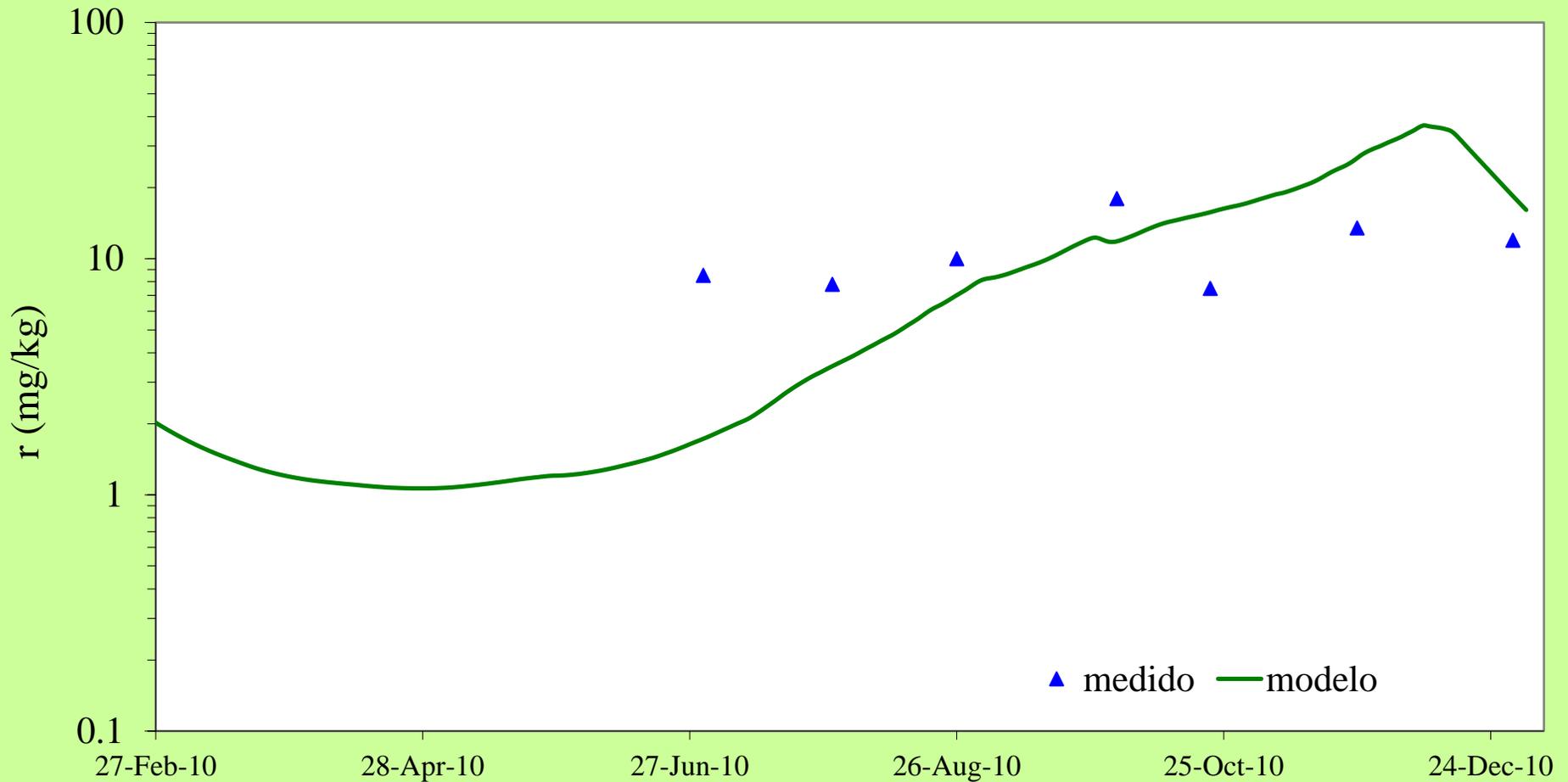
Concentraciones de C_T en agua a escala anual, medidas y calculadas (sección 8, 200 m aguas debajo de la fuente)



Concentraciones de S_w a escala anual, medidas y calculadas (sección 10 , 1000 m aguas debajo de la fuente)

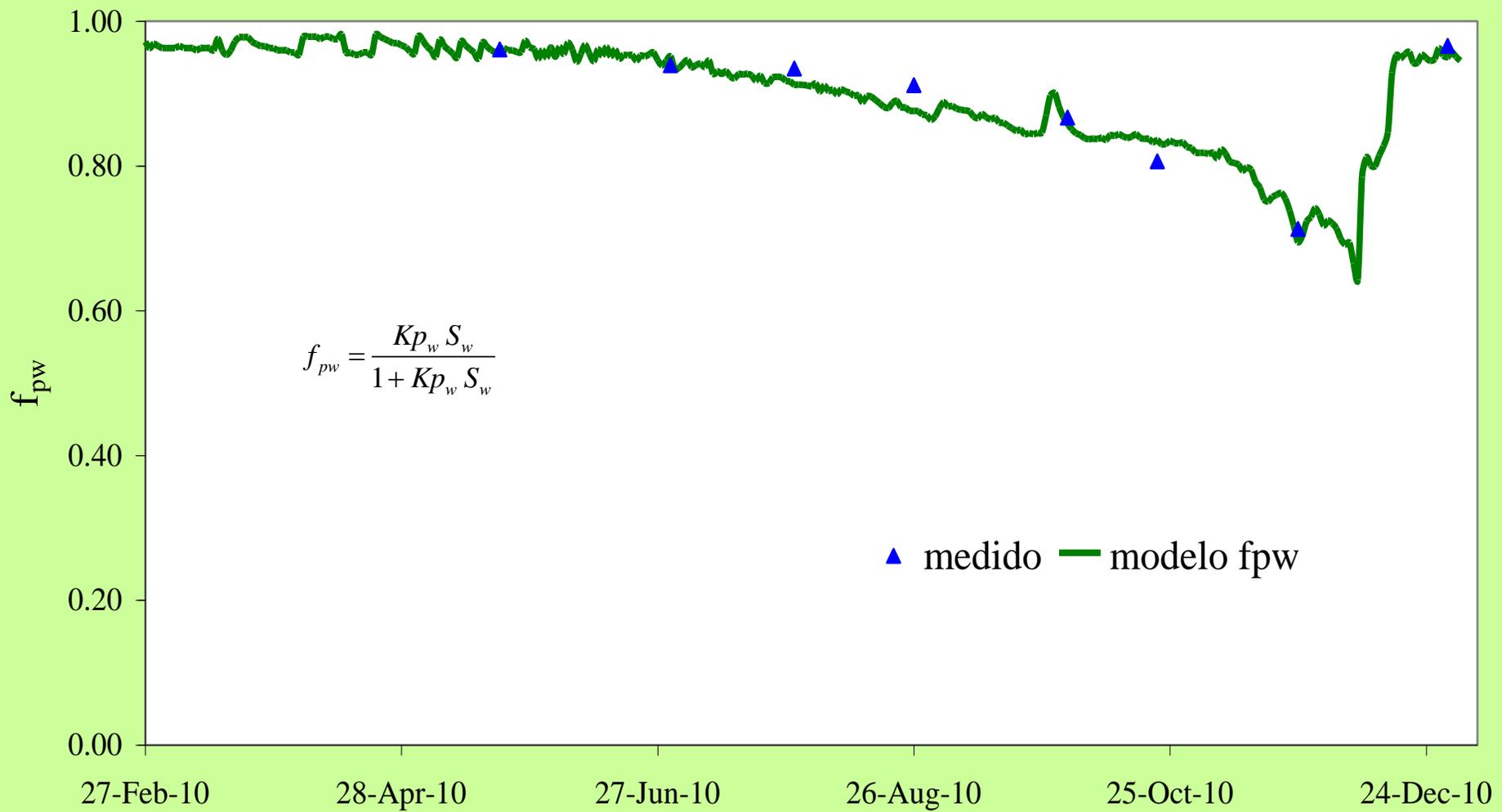


Concentraciones de r a escala anual, medidas y calculadas (sección 10 , 1000 m aguas debajo de la fuente)

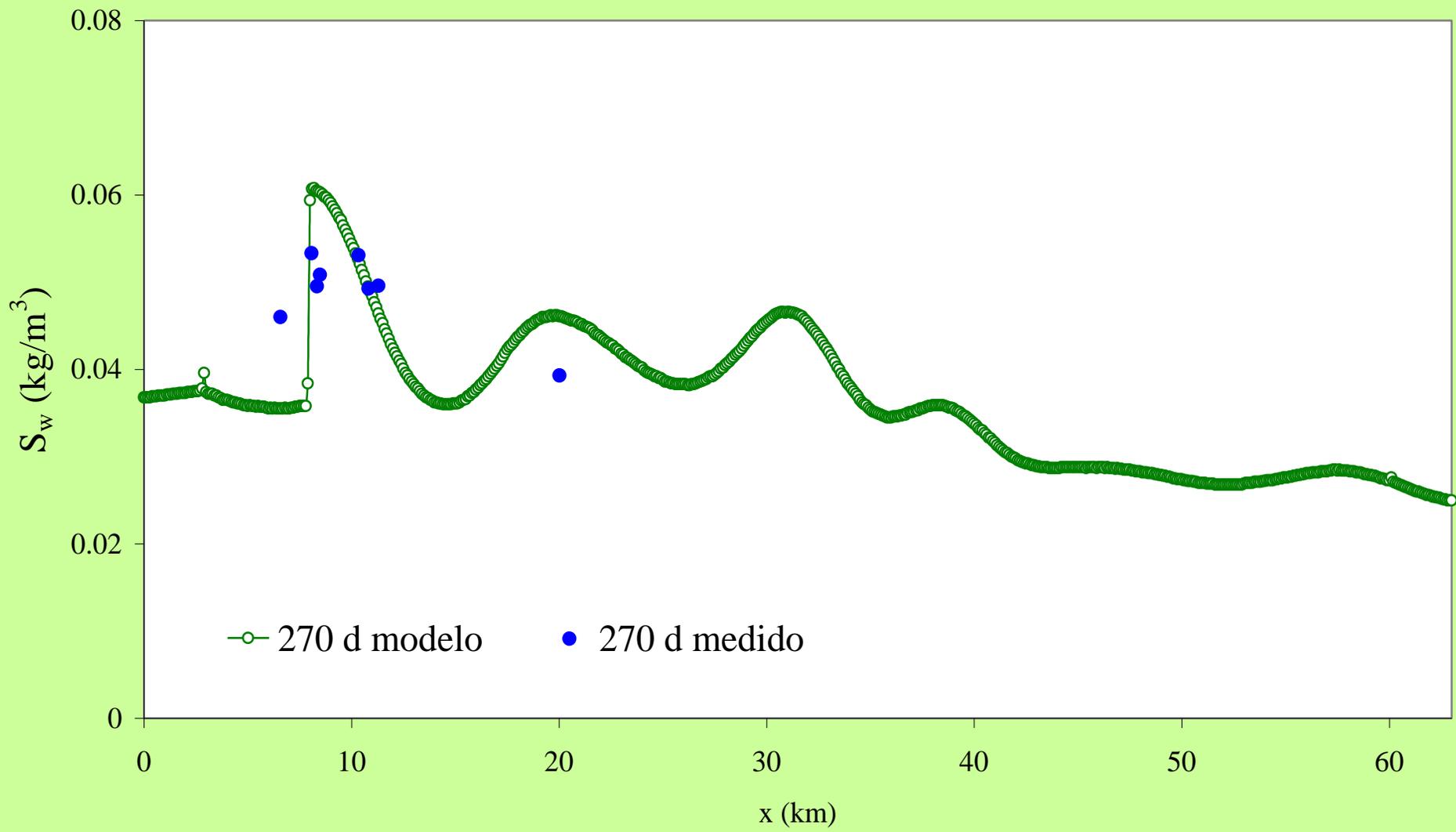


Fracción de cromo sorbido a los sedimentos suspendidos a escala anual, medidas y calculadas

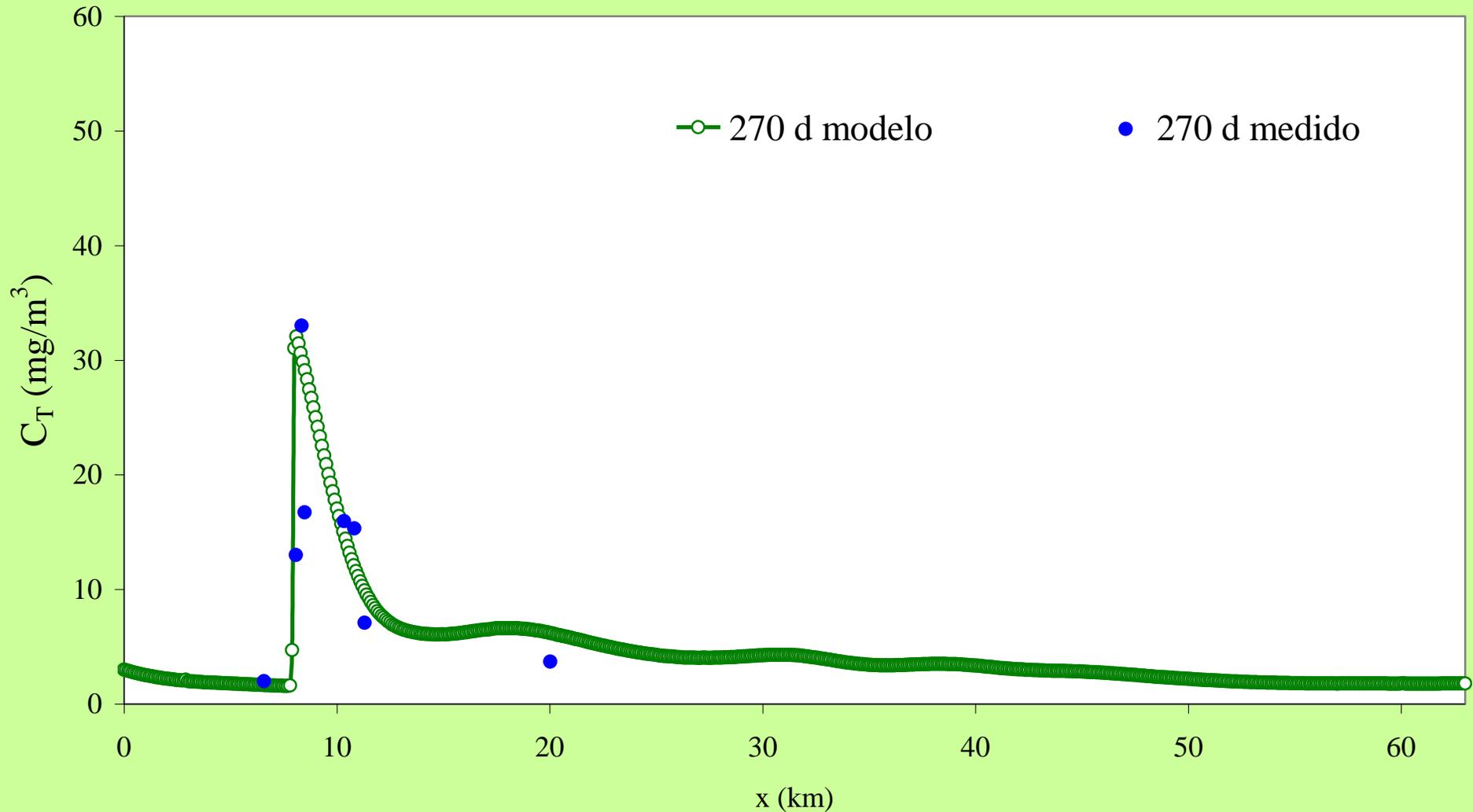
(sección 10 , 1000 m aguas debajo de la fuente)



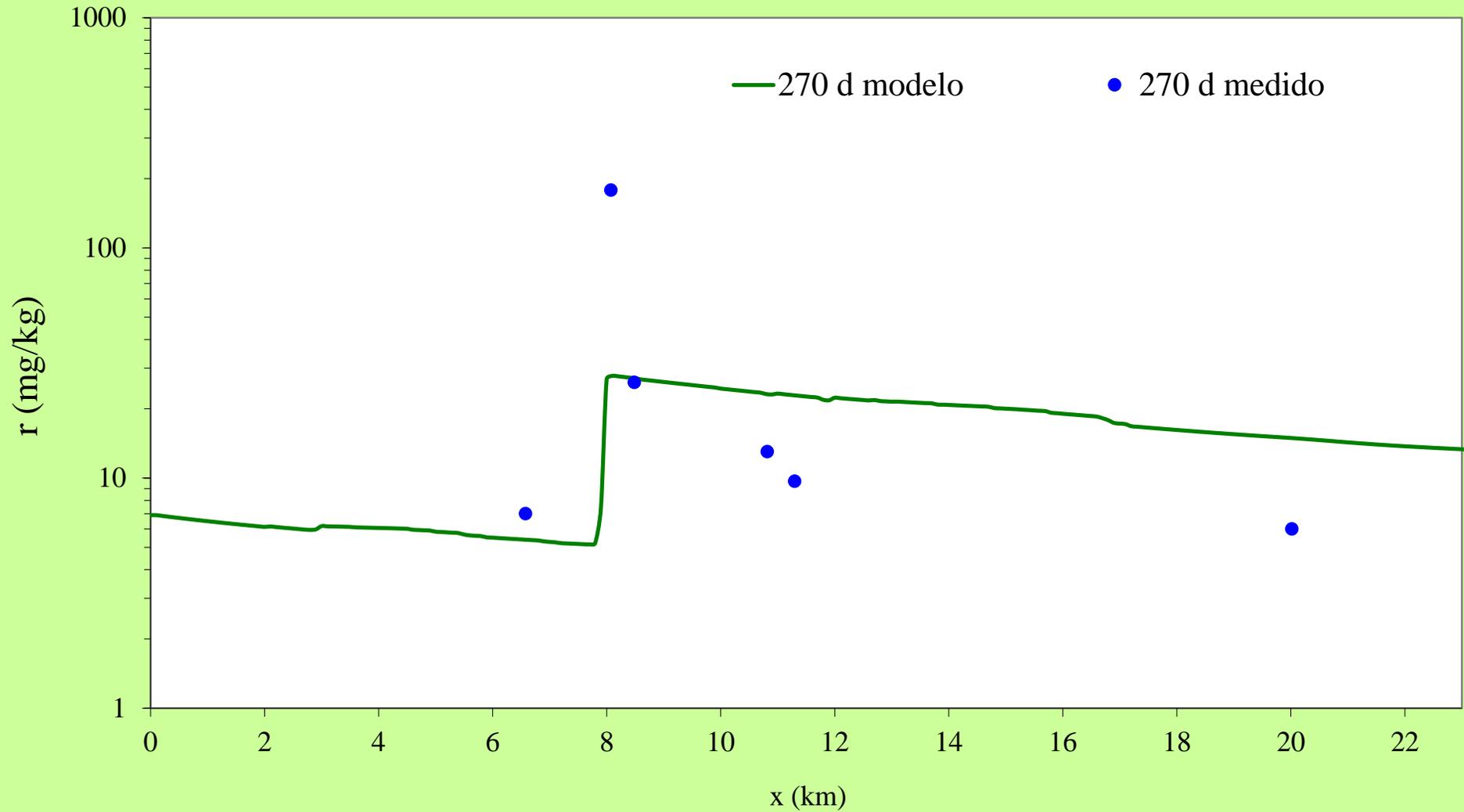
Simulación del transporte de sedimentos suspendidos en $t=270$ d



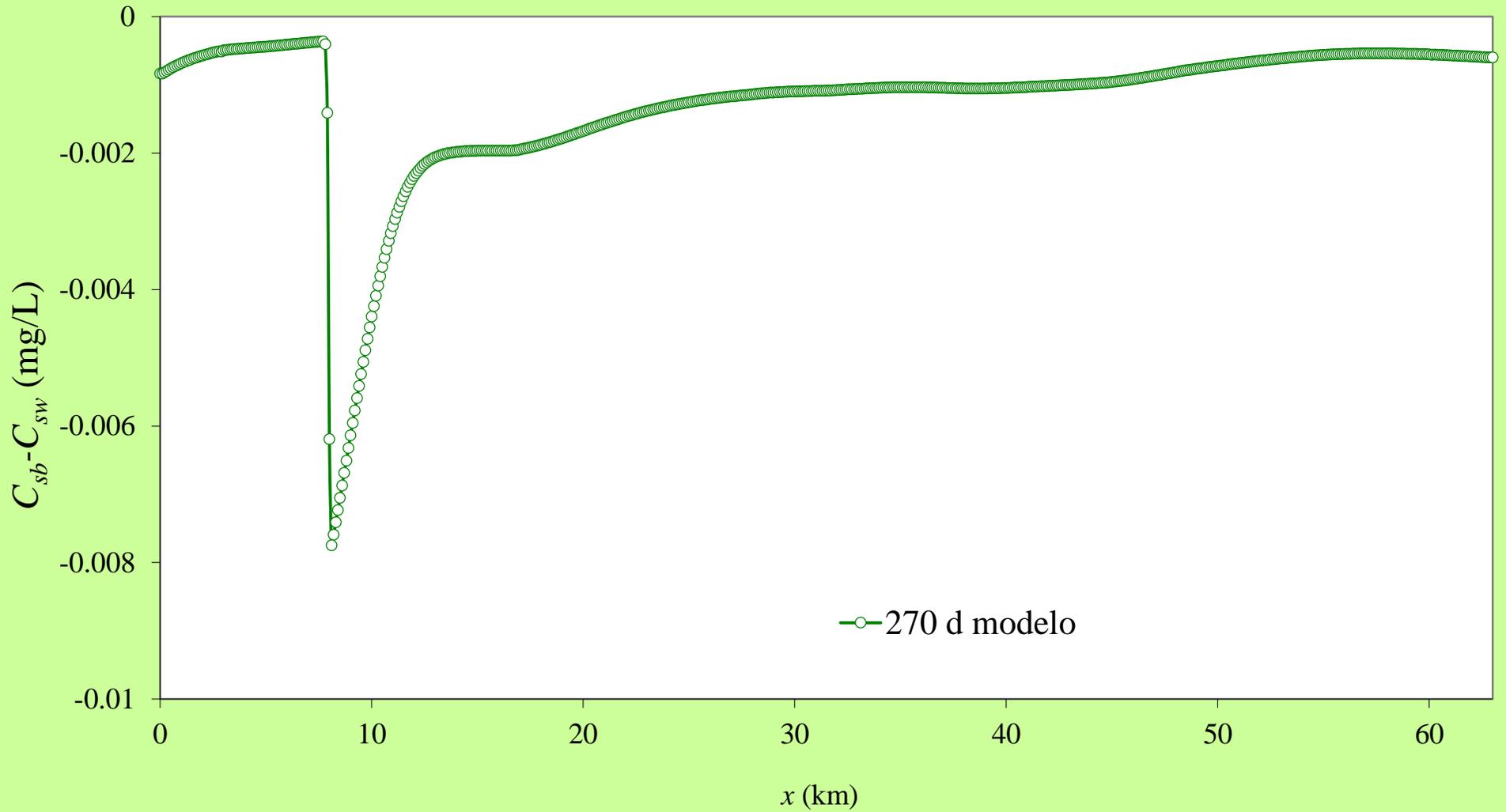
Simulación del transporte de cromo total en agua en $t=270$ d



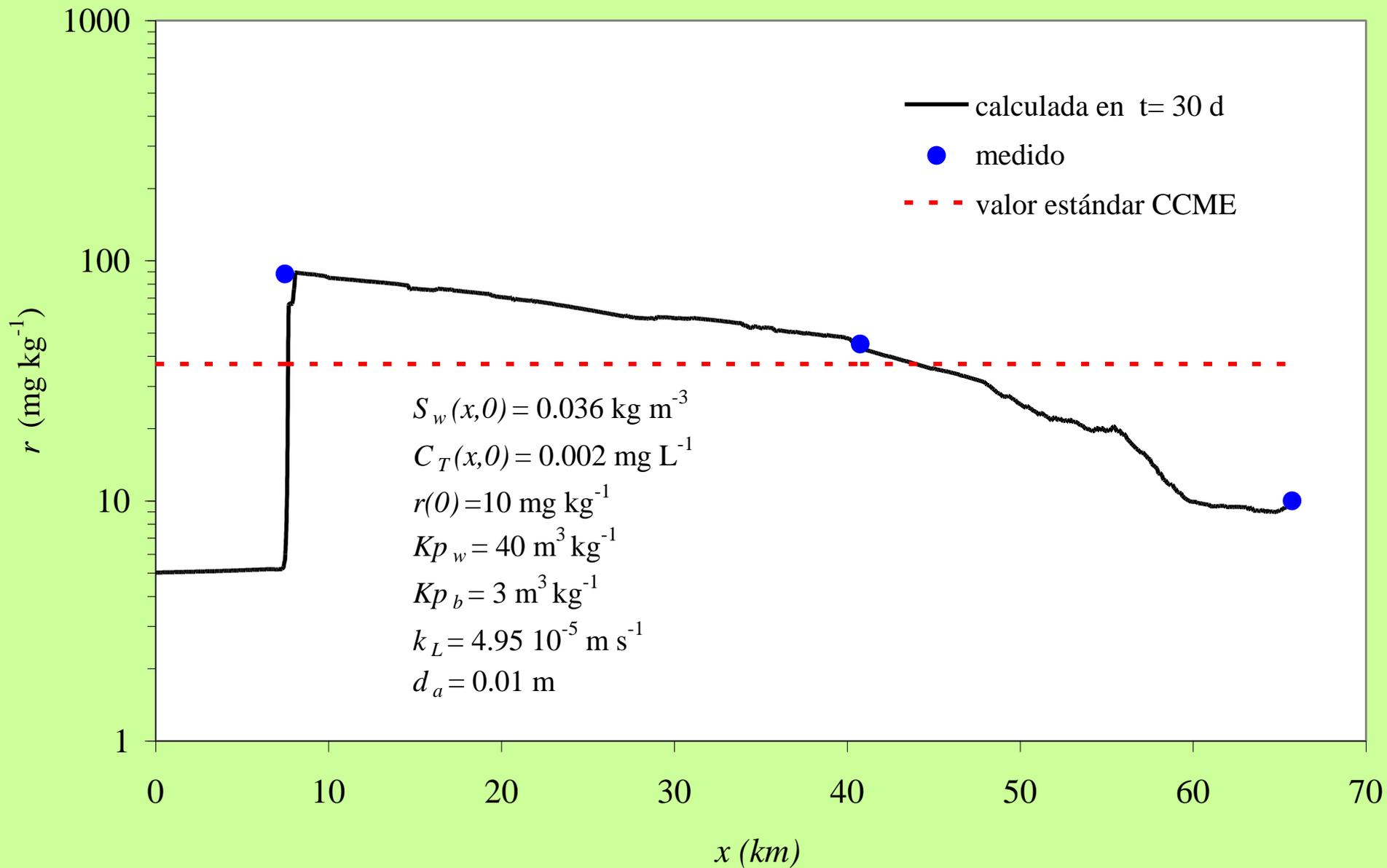
Simulación del transporte de cromo total en el lecho en $t=270$ d



Simulación del flujo difusivo de cromo en $t=270$ d



r - 1999



Relevancia del flujo difusivo: $k_L(C_{sb}-C_{sw})$

concentraciones MP lecho

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \left[-\frac{k_L \left(\frac{r}{Kp_b} - \frac{C_T}{1 + S_w Kp_w} \right)}{d \left(\frac{1}{Kp_b} + S_b \right)} + \frac{k_s \gamma C_T \frac{S_w Kp_w}{1 + S_w Kp_w}}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} - \frac{r \alpha S_b}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} \right]$$

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \left[-\frac{k_L (C_{sb} - C_{sw})}{d \left(\frac{1}{Kp_b} + S_b \right)} + \frac{k_s \gamma C_{pw}}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} - \frac{\alpha C_{pb}}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} \right]$$

Relevancia del flujo difusivo: $k_L(C_{sb}-C_{sw})$

Las concentraciones de Cr en sedimentos en las cercanías de fuentes, registradas en zonas de descargas de otros lugares del mundo:

por ejemplo en el Río de La Plata, a 1 km cerca del Riachuelo se midió 84.3 mg/kg

en la costa de Quilmes 72.8 mg/kg (Tatone et al., 2009);

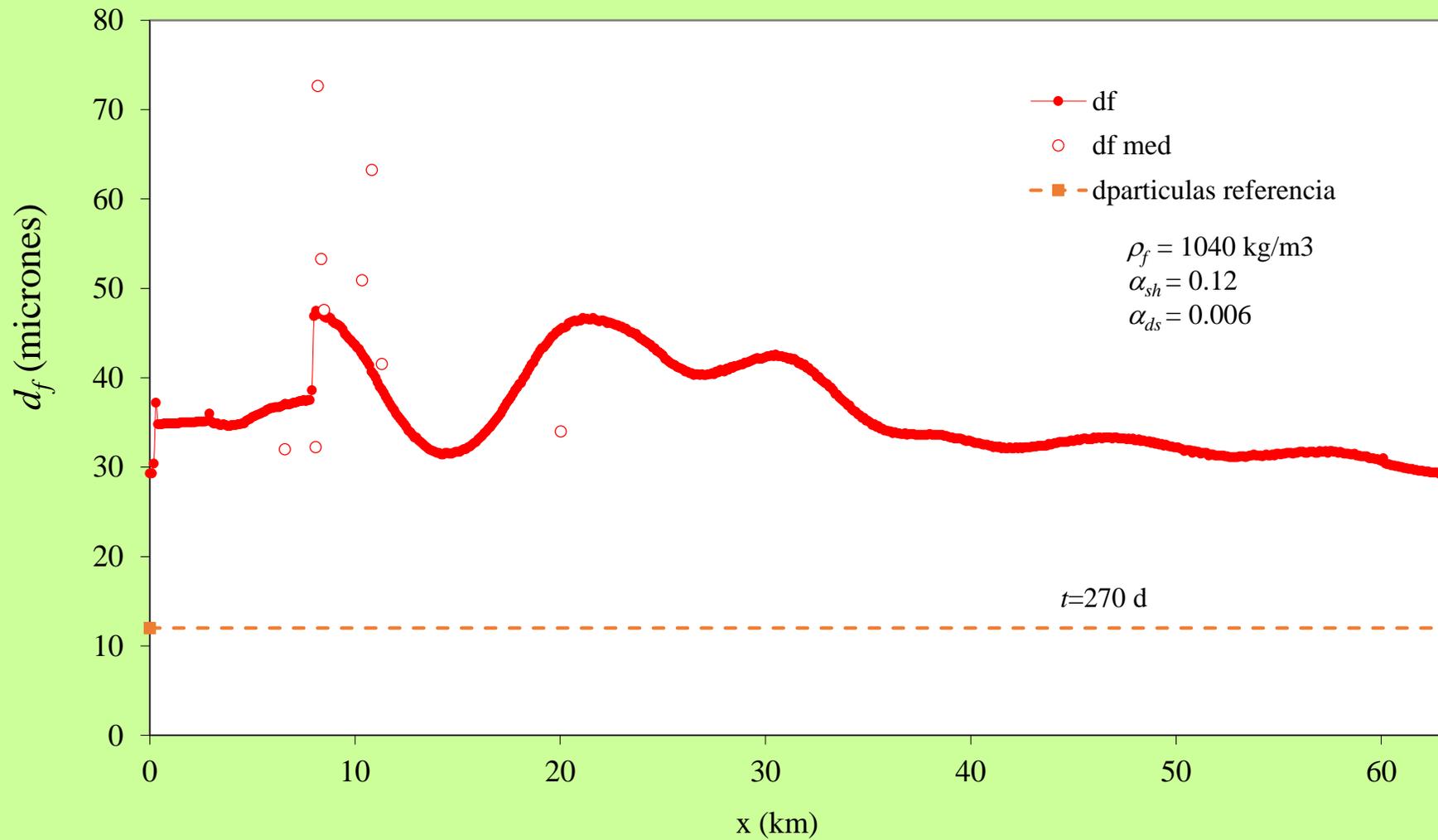
en el delta del Mississippi (USA) 80 mg/kg,

en Southampton Water (UK) entre 78 y 102 mg/kg,

en el Rhine (Alemania) 47 mg/kg (Bilos *et al.*, 1998).

El flujo máximo de Cr soluble calculado para el escenario de 1999 fue 21.4 mg/m²/día, en relación con el valor informado por Tatone et al. (2009) para Cr en el río de La Plata de 45 mg/m²/día.

Simulación del diámetro de flóculos en $t=270$ d



Conclusiones

Se simuló la hidrodinámica y el transporte de sedimentos y cromo para 311 días en un tramo de 63 km del río Salado, para $2 \text{ m}^3\text{s}^{-1} < Q < 326 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Los vertidos de la fuente fueron relevantes para las C_T en condiciones de Q bajos. Los resultados y las mediciones mostraron que la mayor parte del Cr en la columna de agua, se transporta particulado sorbido a los sedimentos suspendidos. De este modo queda en evidencia la relevancia del papel que juegan los sedimentos suspendidos para el transporte de Cr a lo largo de todo el período simulado.

Las S_w para las condiciones NE, en el rango $0.035 < S_w < 0.7 \text{ kg m}^{-3}$, estuvieron gobernadas principalmente por las condiciones de borde aguas arriba, definidas por una curva Q - S_w , calculada en base a mediciones.

Los procesos de erosión y depositación, contribuyeron en forma secundaria en la definición de S_w a escala temporal del modelo, si bien fueron importantes en escalas de tiempo más cortas, por ejemplo a escala del tiempo de viaje T_v , como cuando ocurrieron cambios de Q por eventos climáticos de corta duración.

Simulación escala diaria...

Modelo Matemático para ambientes fluviales (2DH)

concentraciones SST en agua

$$\frac{\partial S_w}{\partial t} + \frac{\partial US_w}{\partial x} + \frac{\partial VS_w}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h \frac{\partial S_w}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h \frac{\partial S_w}{\partial y} \right) + \frac{m_e}{h} - \frac{m_d}{h}$$

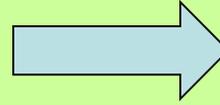
concentraciones MP agua

$$\frac{\partial C_T}{\partial t} + \frac{\partial UC_T}{\partial x} + \frac{\partial VC_T}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h \frac{\partial C_T}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h \frac{\partial C_T}{\partial y} \right) + \frac{k_L}{h} (C_{sb} - C_{sw}) + \frac{\alpha}{\gamma} C_{pb} - k_s C_{pw}$$

concentraciones MP lecho

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \left[-\frac{k_L \left(\frac{r}{Kp_b} - \frac{C_T}{1 + S_w Kp_w} \right)}{d \left(\frac{1}{Kp_b} + S_b \right)} + \frac{k_s \gamma C_T \frac{S_w Kp_w}{1 + S_w Kp_w}}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} - \frac{r \alpha S_b}{\frac{1}{Kp_b} + S_b} \right]$$

$$E_{Long} > E_{Transv} \gg E_{Vert}$$



2DH

$$E_{long} = L \approx 10^4 \text{ m}$$

Escalas espaciales del transporte

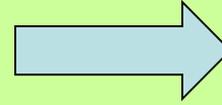
$$E_{transv} = W \approx 10^2 \text{ m}$$

$$E_{vert} = h \approx 10^0 \text{ m}$$

$$L_m = 0.1 \frac{\frac{\sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2}}{2} W^2}{\varepsilon_t} \approx 700 \text{ m}$$

Longitud mezcla completa

$$T_{Long} \approx T_{Trans} \gg T_{Vert}$$



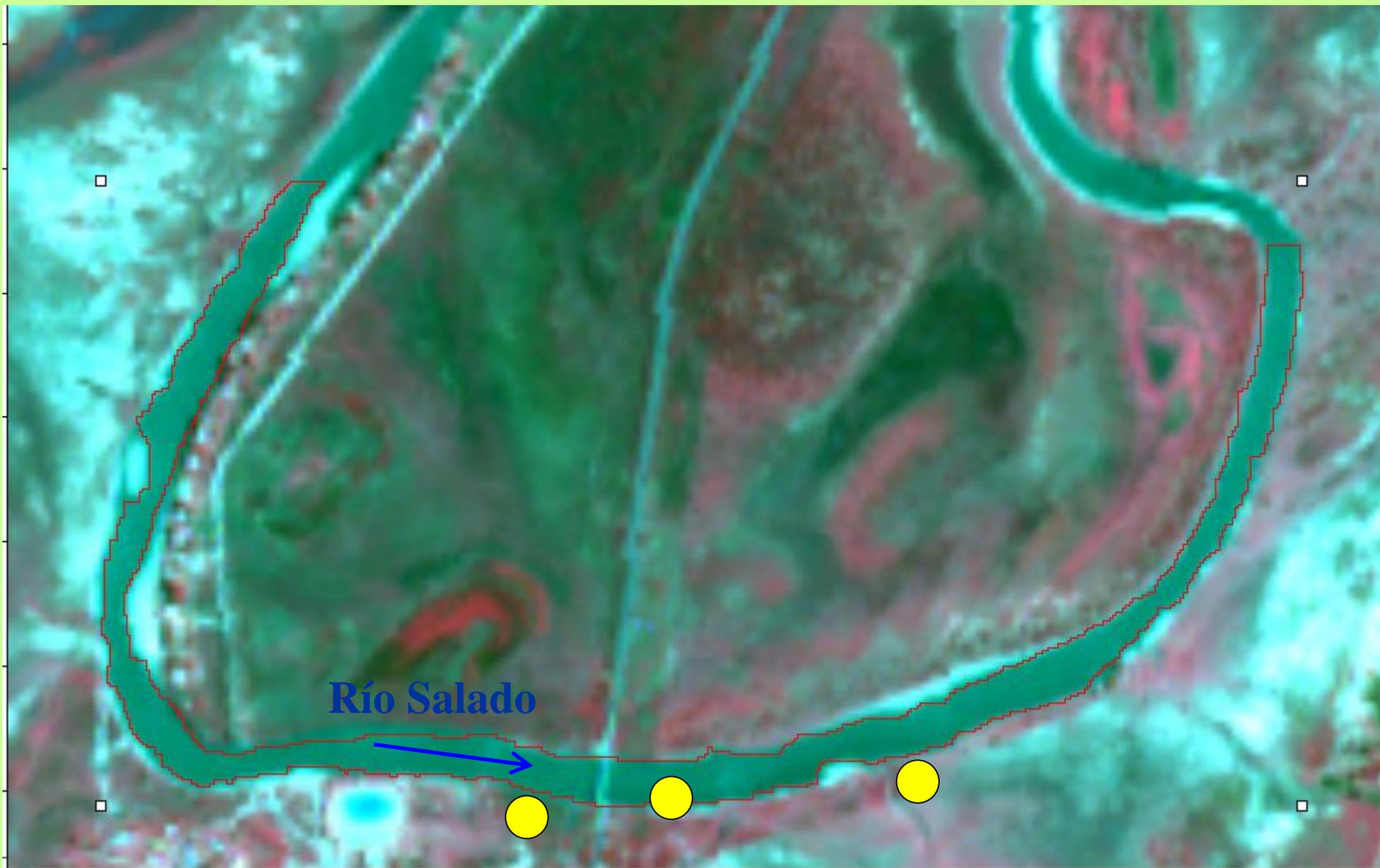
2DH

$$T_{Long} = \frac{L}{\frac{\sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2}}{2}} \approx 14 \text{ horas}$$

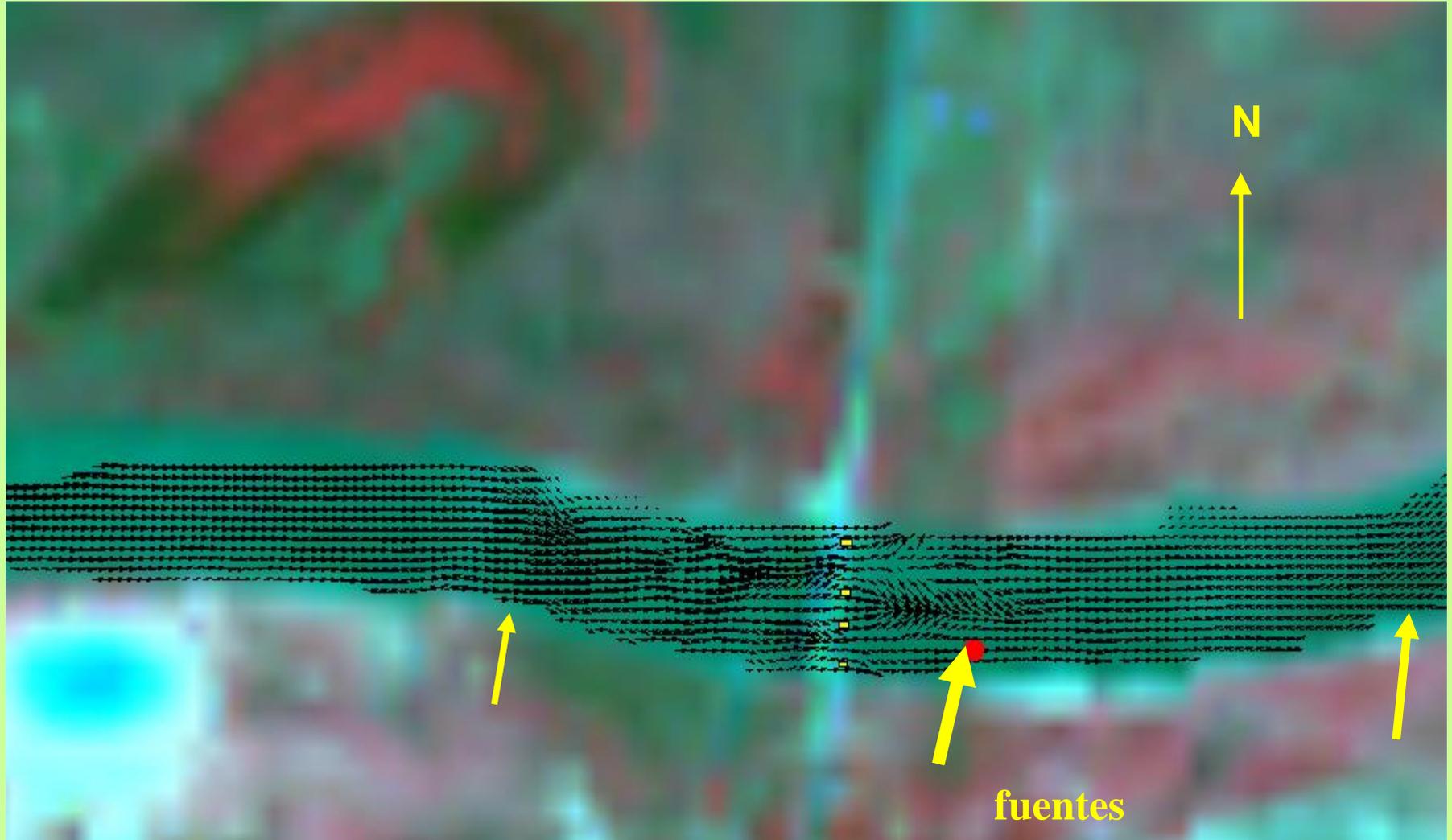
$$T_{transv} = \frac{W^2}{\frac{\sqrt{\bar{E}_x^2 + \bar{E}_y^2}}{2}} \approx 12 \text{ horas}$$

$$T_{vertical} = \frac{h^2}{\varepsilon_v} \approx 1.0 \text{ horas}$$

**Escalas de tiempo
de mezcla**
(Trento & Alvarez, 2011)



Dominio de modelación 2D y ubicación de las fuentes



Campo de velocidades en las cercanías de las fuentes calculado con Sisbahia.

Implementación del Modelo de Partículas (RWPM)

La representación de la erogación de masa en el entorno de la fuente se realizó con 24 partículas a cada intervalo de cálculo, $\Delta t=6$ s.

Las condiciones del entorno de la fuente se definieron, según mediciones:

$$C_{Tw} = 210 \text{ mg}_{Cr} \text{ m}^{-3}$$

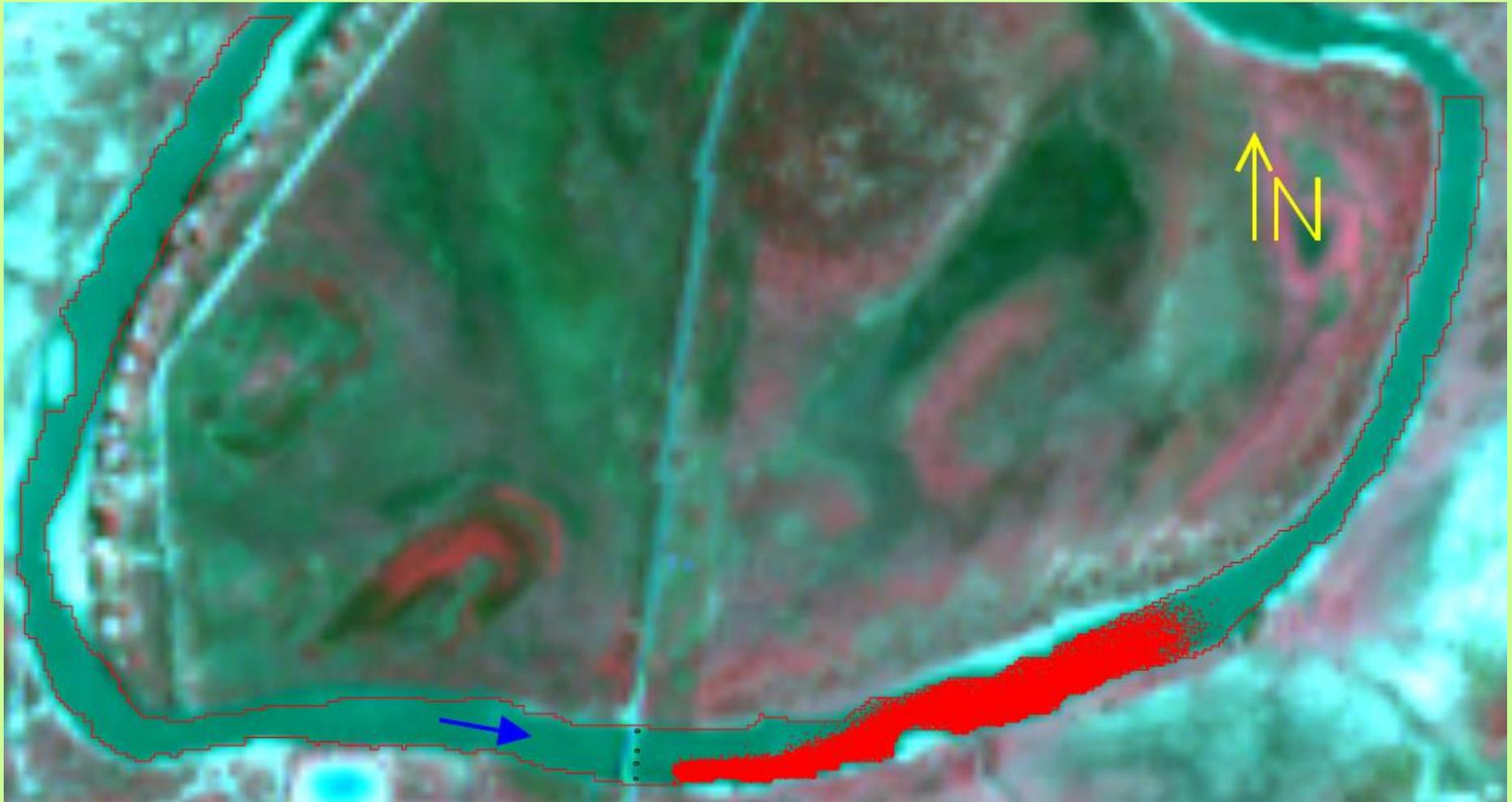
$$S_w = 0.060 \text{ g m}^{-3}$$

Las condiciones iniciales fueron:

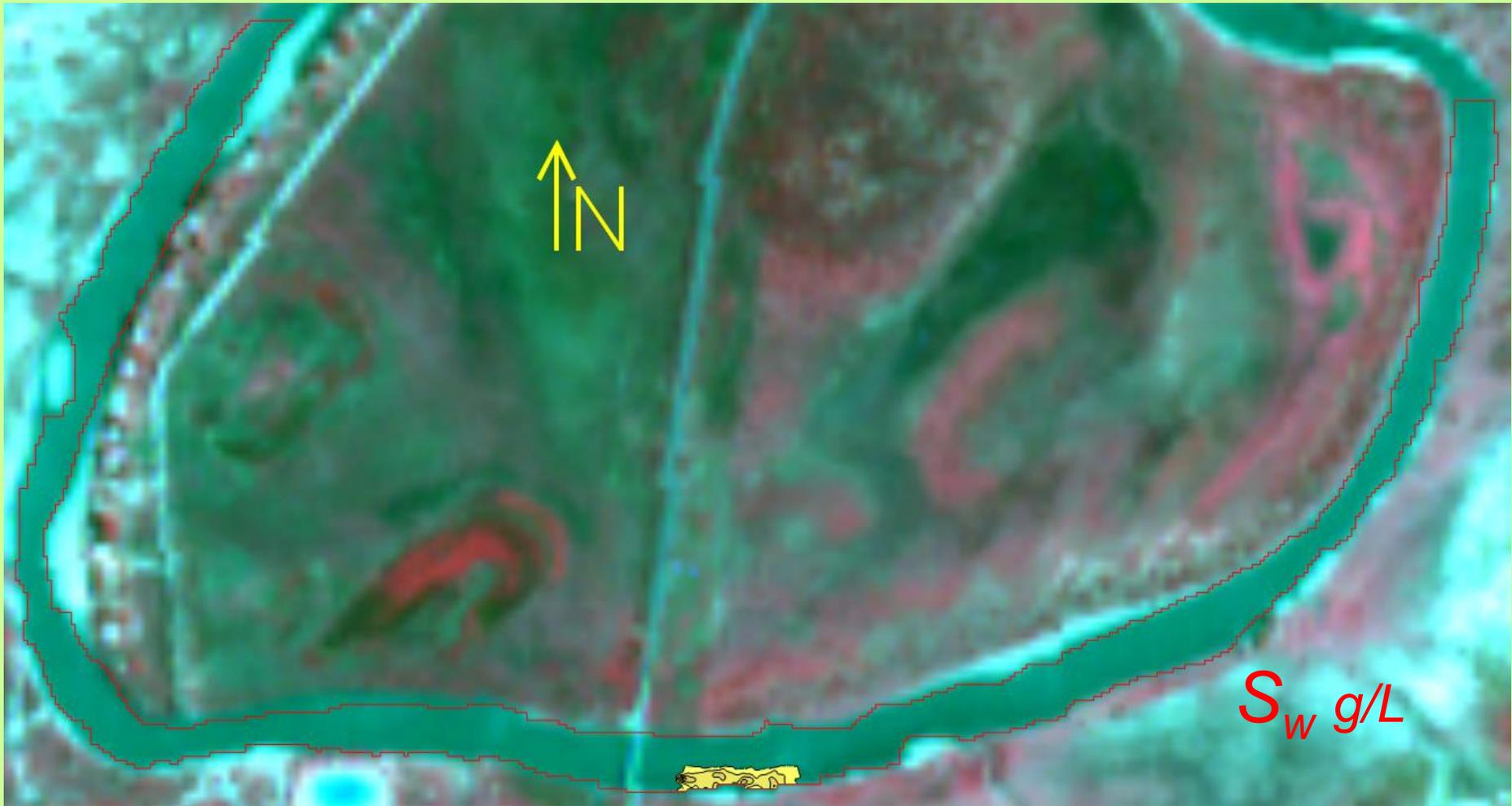
$$C_{Tw}(x,y,0) = 3 \text{ mg}_{Cr} \text{ m}^{-3}$$

$$r(x,y,0) = 40 \text{ mg}_{Cr} \text{ kg}^{-1}$$

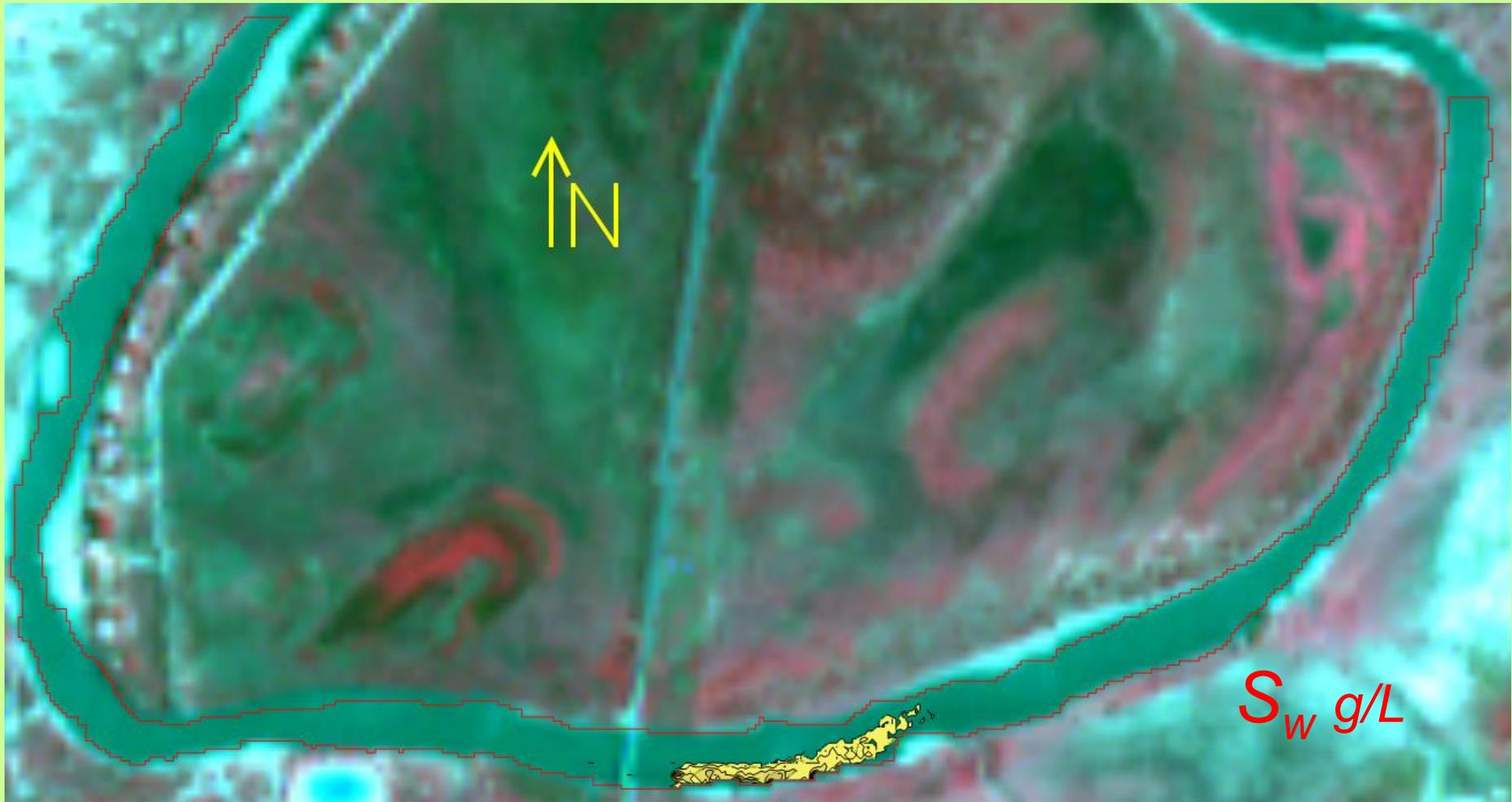
$$S_w(x,y,0) = 0.125 \text{ g m}^{-3}$$



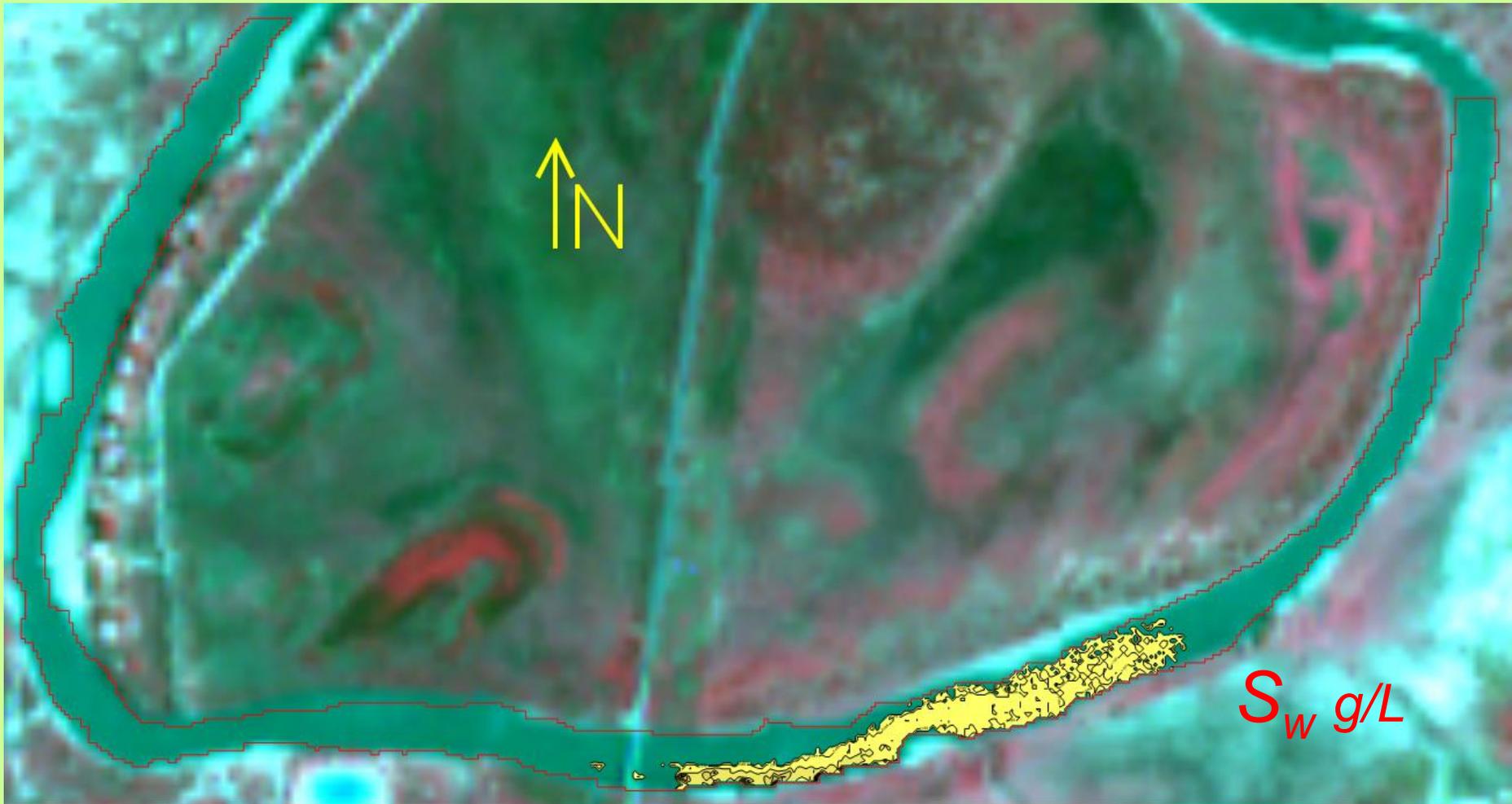
partículas en $t = 1\text{h}$



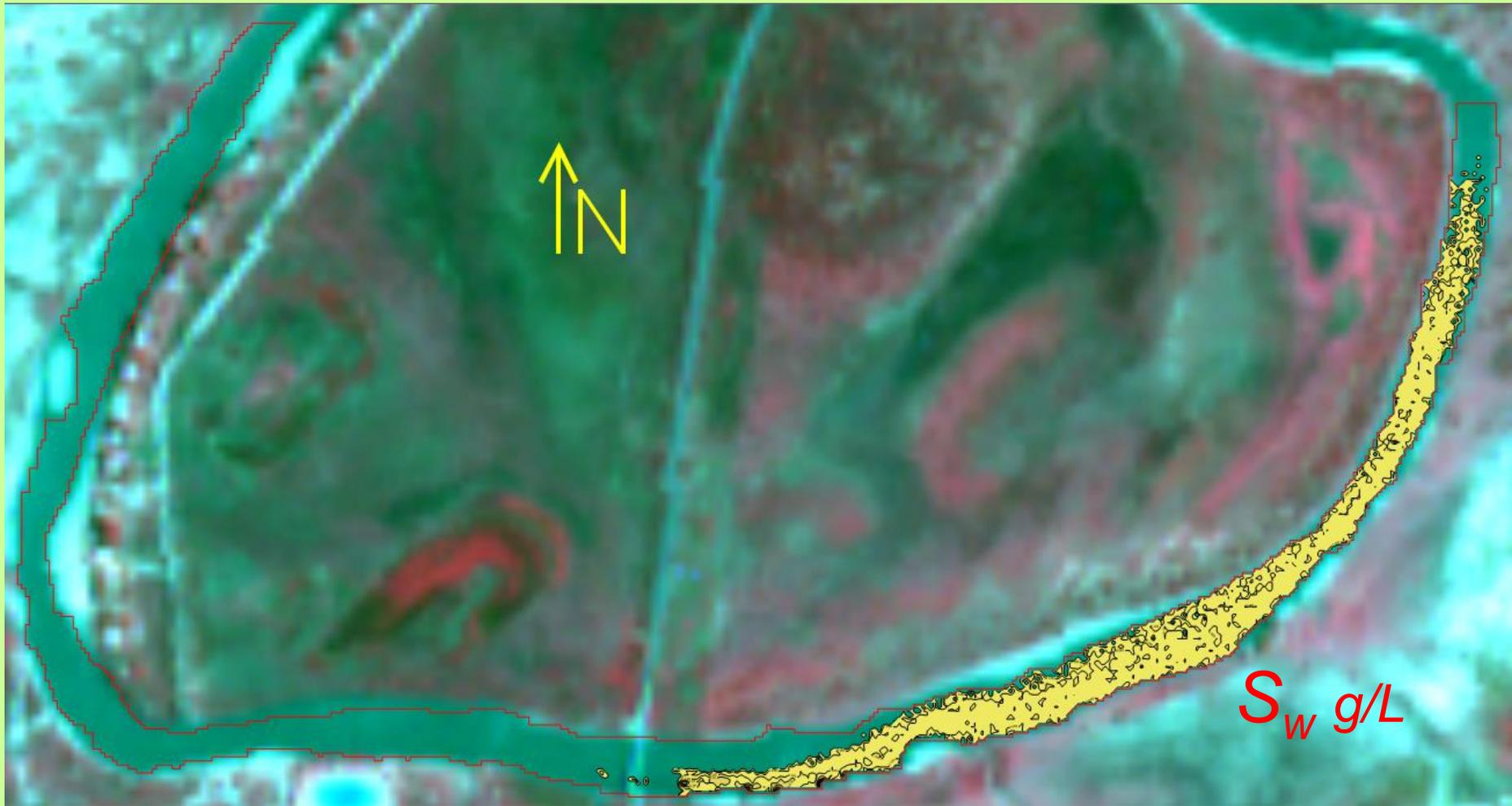
**Pluma de concentraciones de solidos suspendidos
totales, S_w en $t = 30'$**



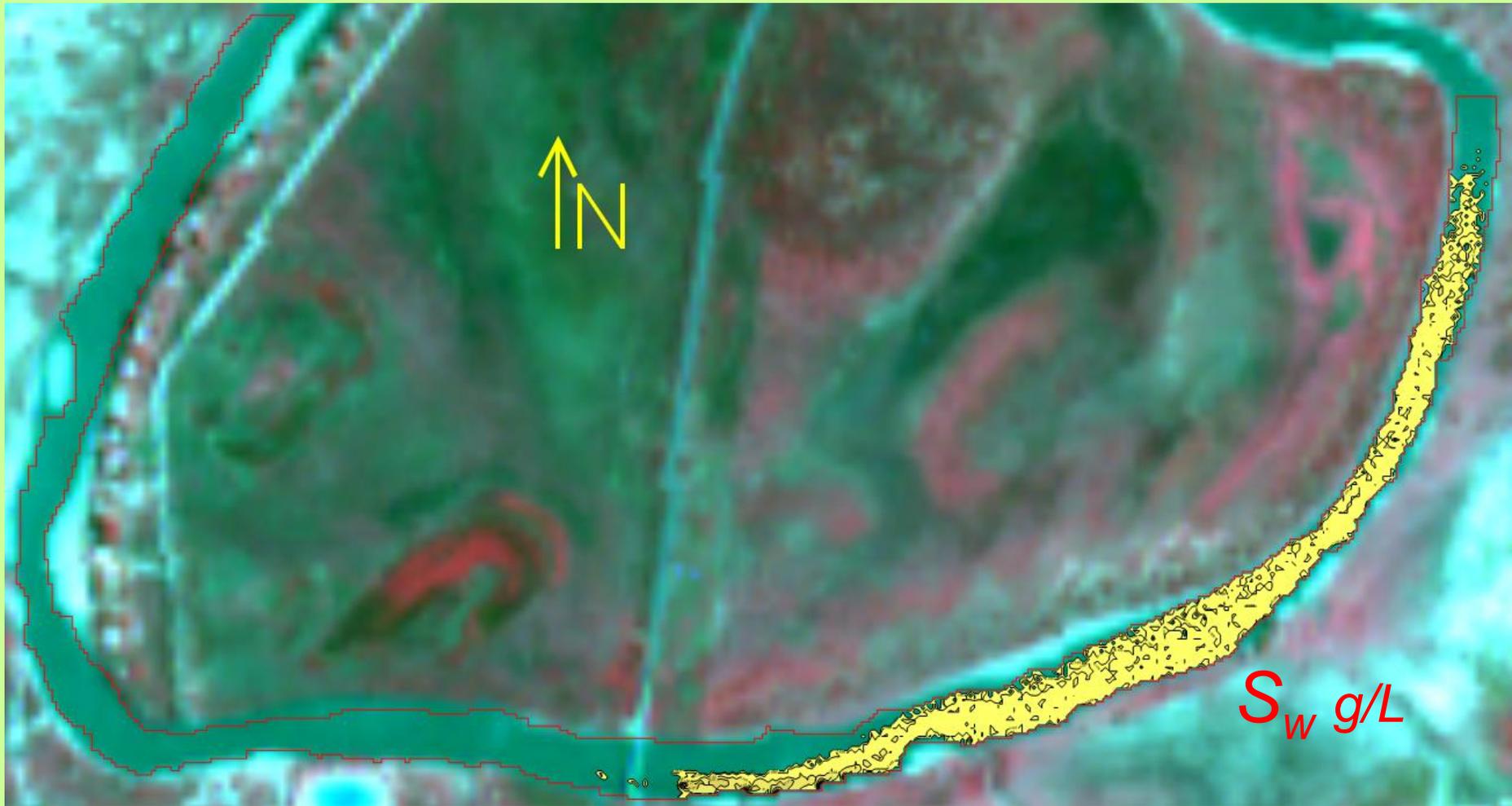
Pluma de concentraciones de solidos suspendidos
totales, S_w en $t = 1h$



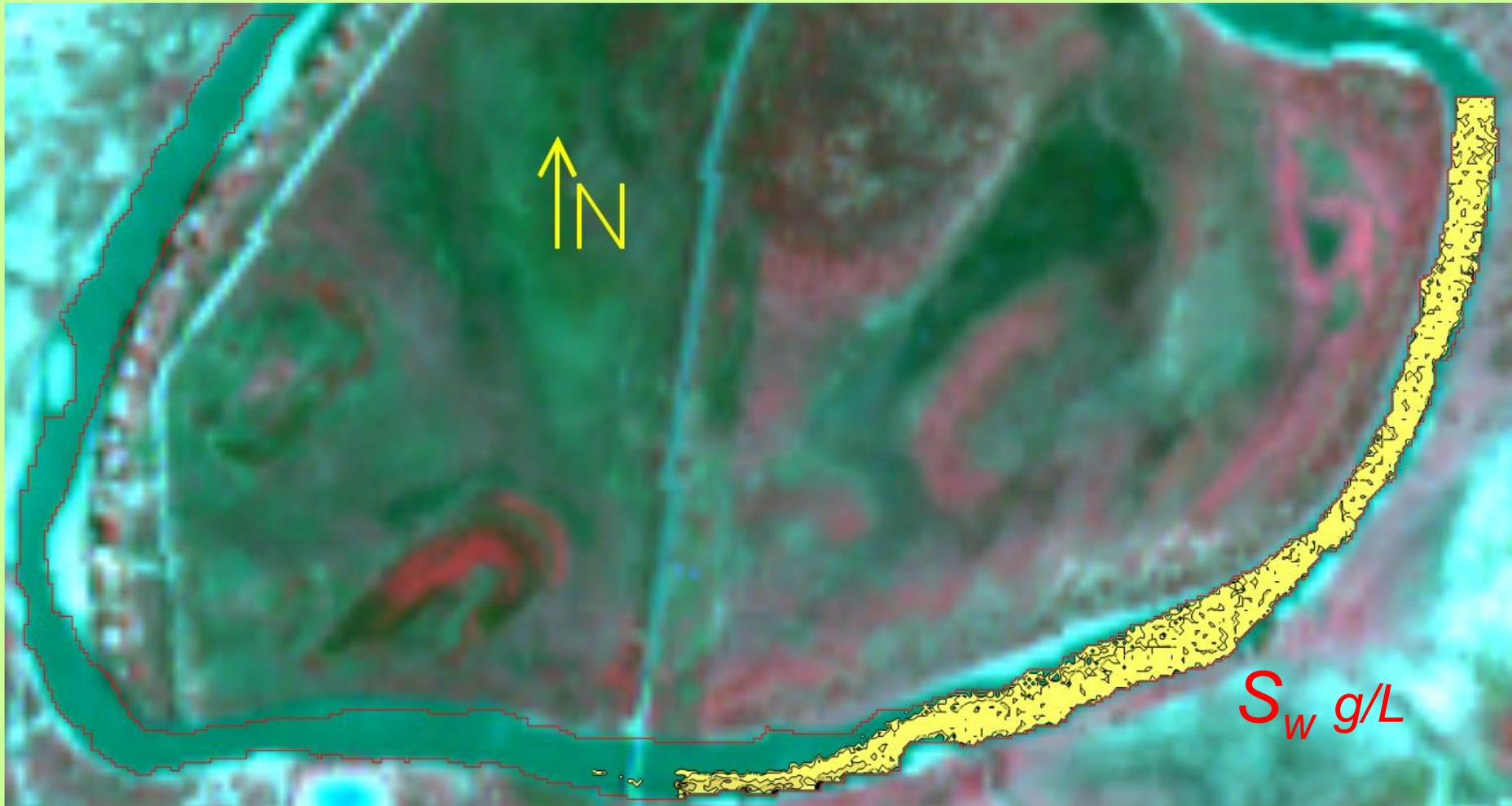
**Pluma de concentraciones de solidos suspendidos
totales, S_w en $t = 2h$**



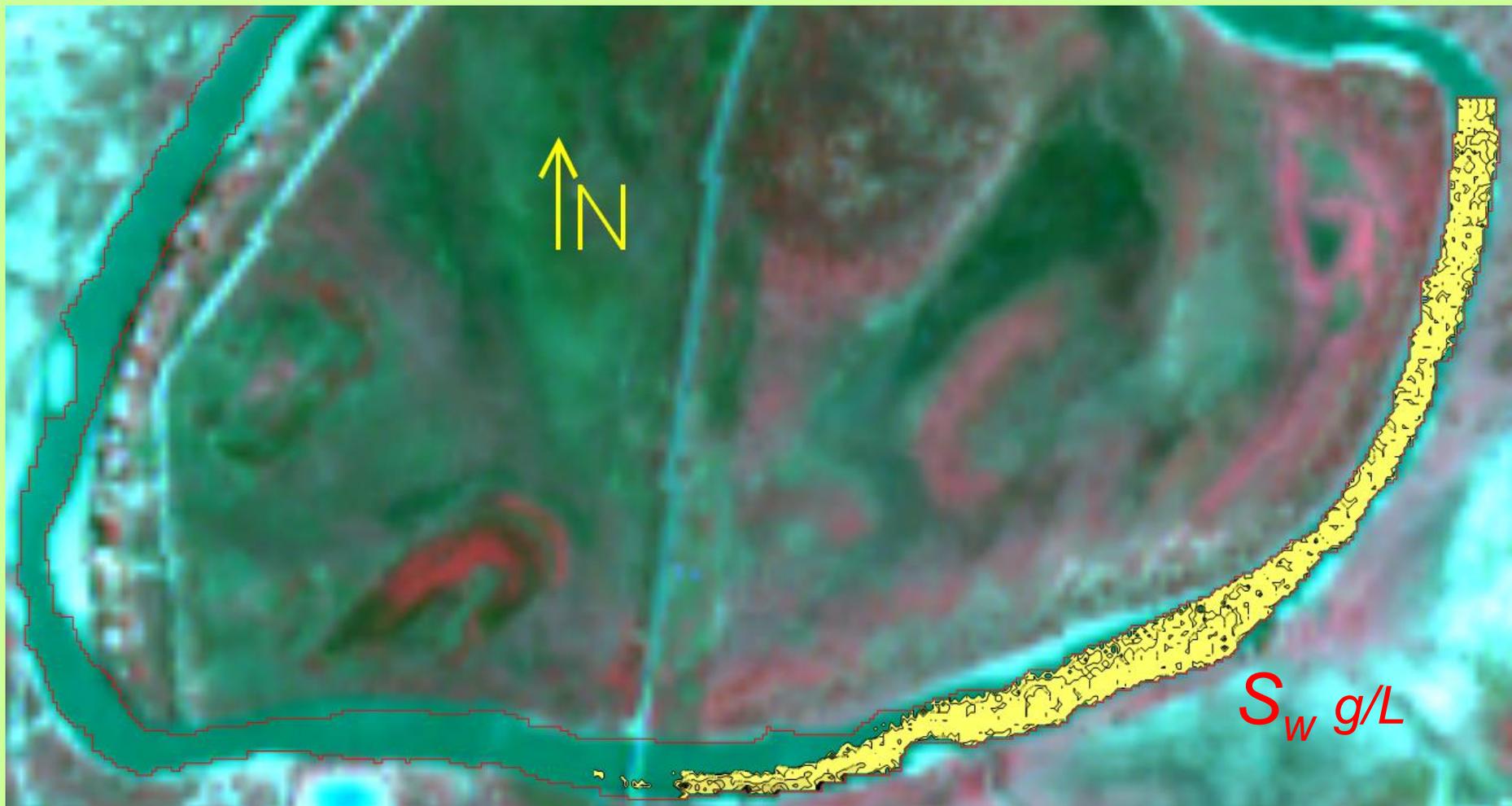
Pluma de concentraciones de solidos suspendidos
totales, S_w en $t = 3h$



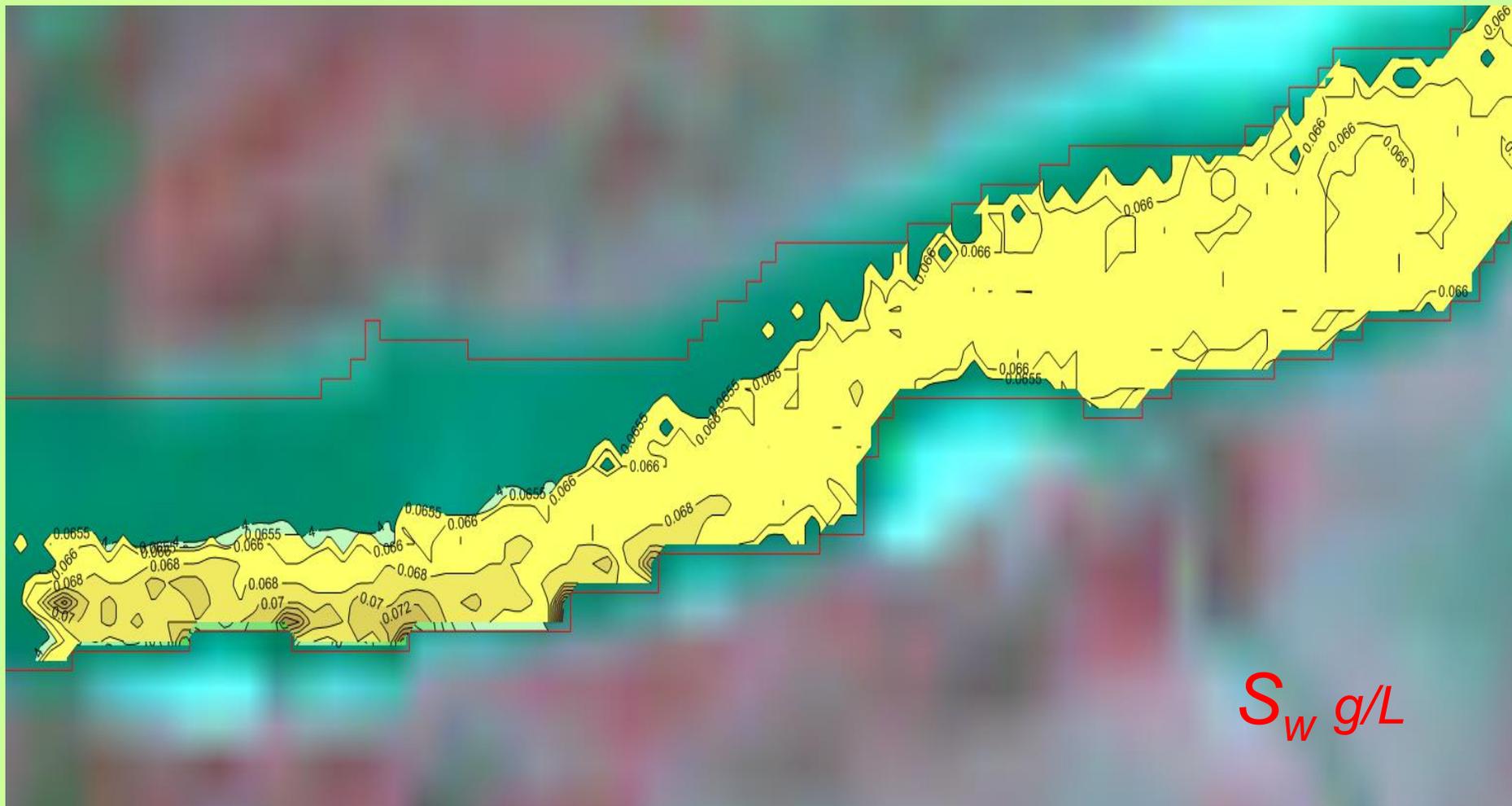
Pluma de concentraciones de solidos suspendidos
totales, S_w en $t = 4h$



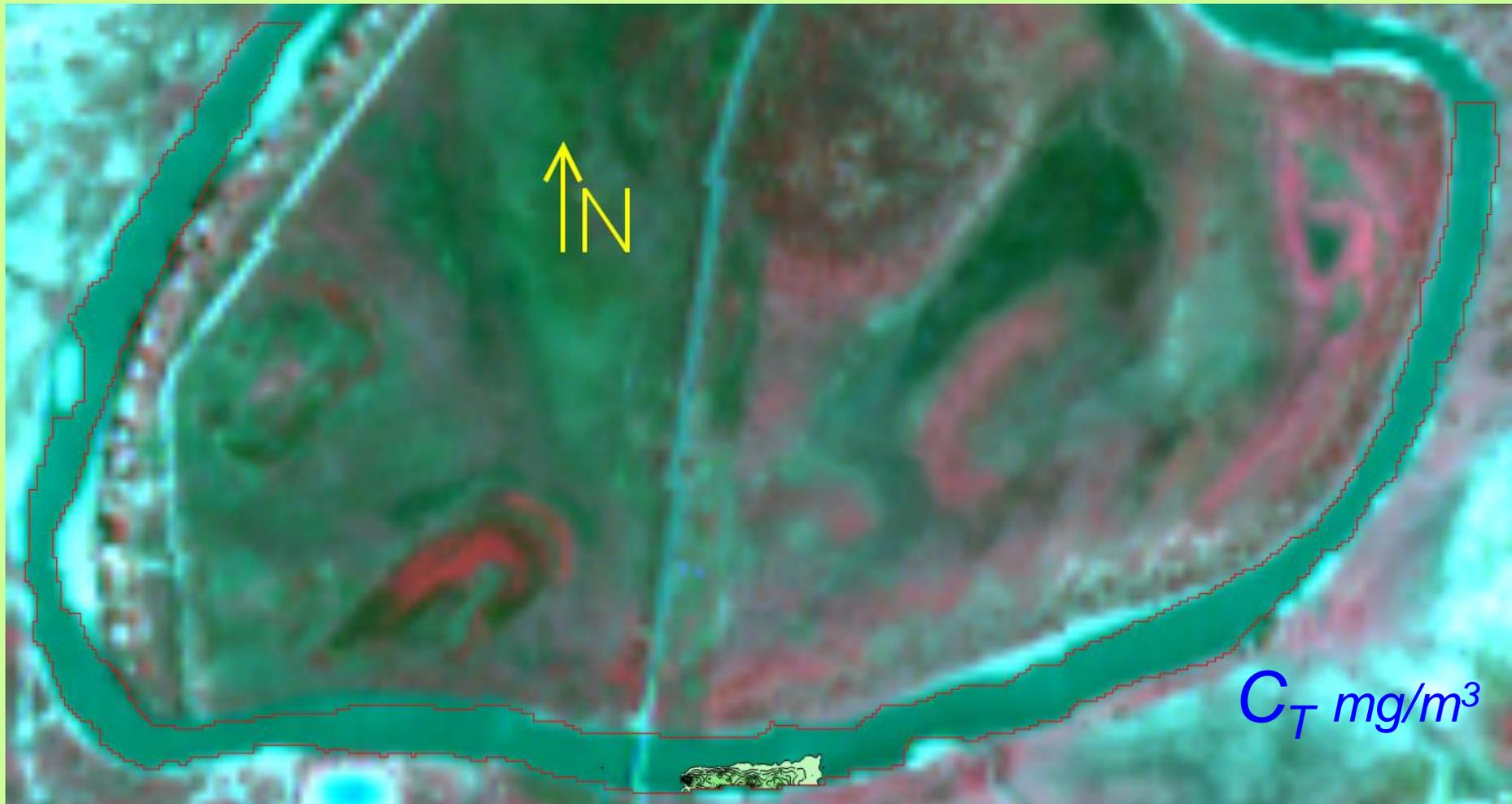
**Pluma de concentraciones de solidos suspendidos
totales, S_w en $t = 6h$**



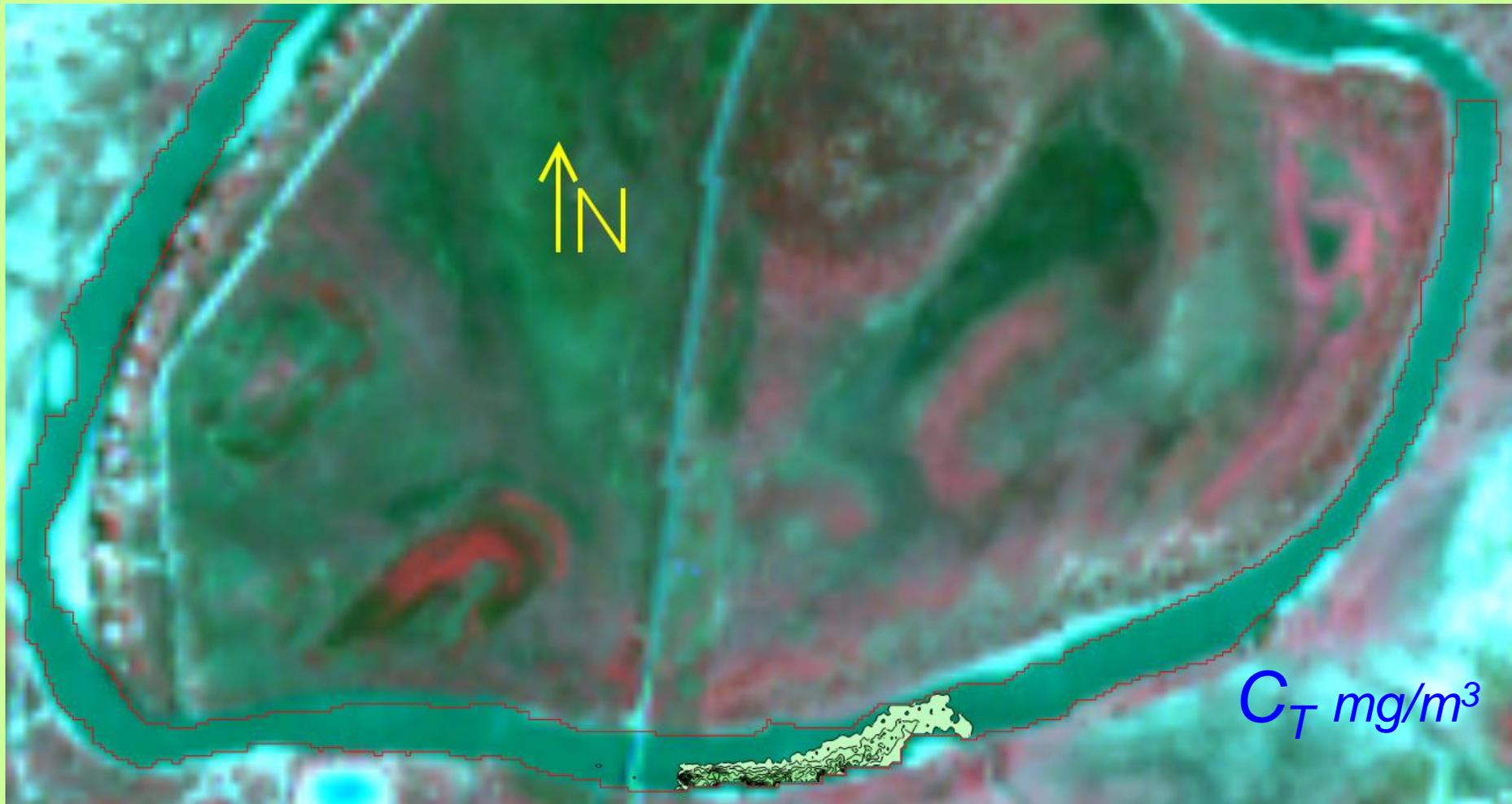
**Pluma de concentraciones de solidos suspendidos
totales, S_w en $t = 8h$**



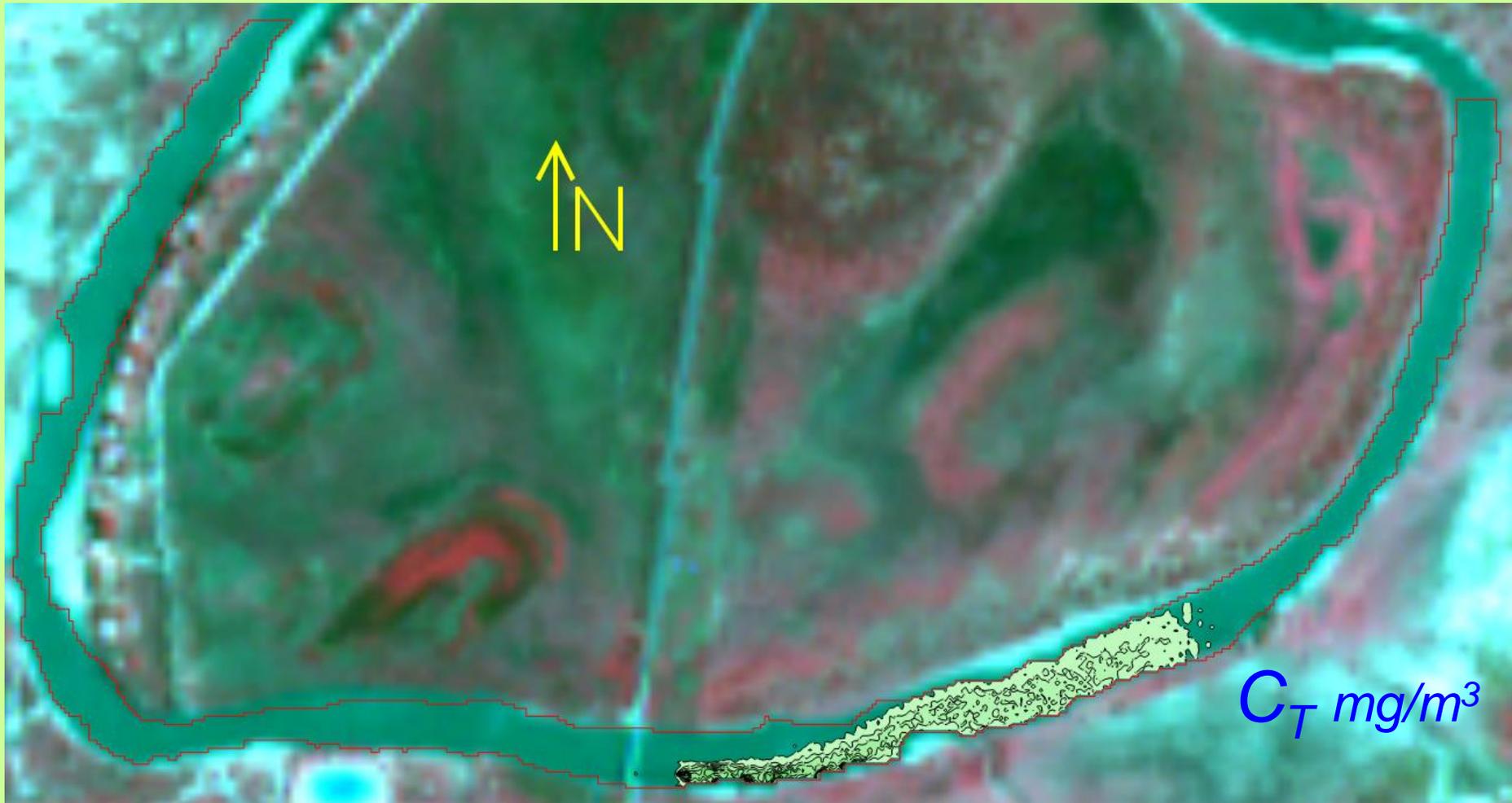
**Pluma de concentraciones de solidos suspendidos
totales, S_w en $t = 8$ h desde la fuente**



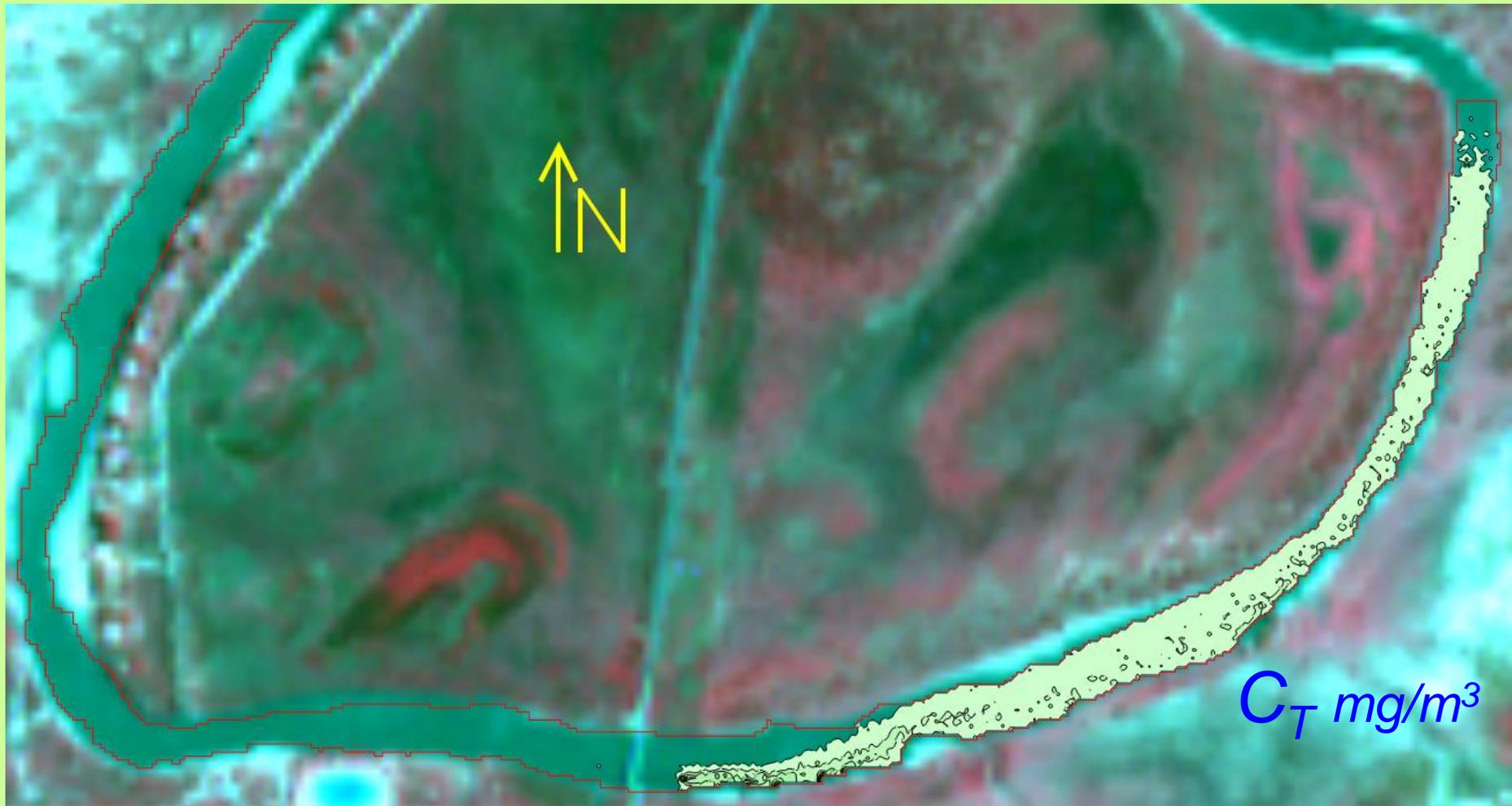
Pluma de concentraciones total de cromo en agua, C_T en
 $t = 30'$



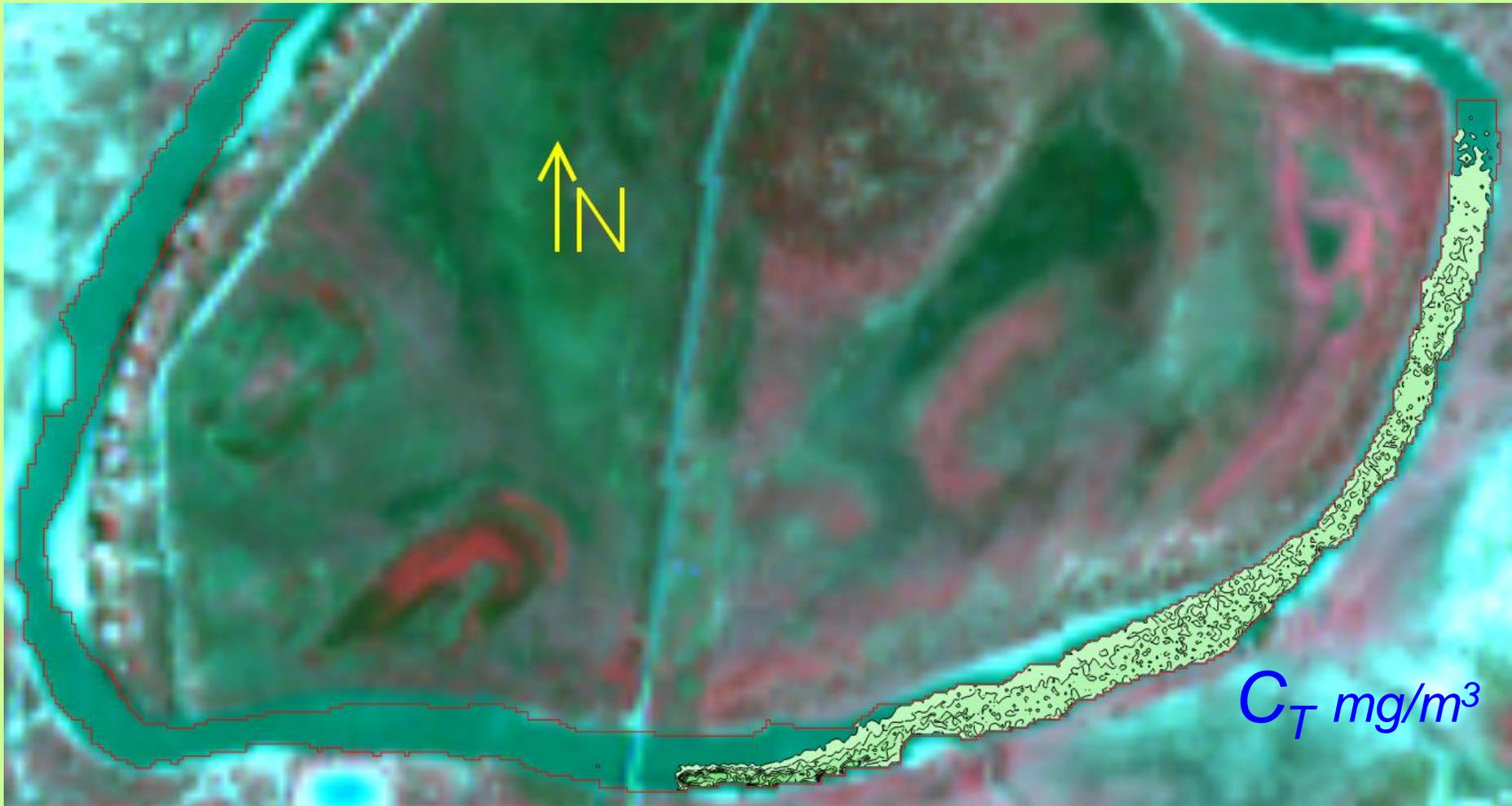
Pluma de concentraciones total de cromo en agua, C_T en
 $t = 1\text{h}$



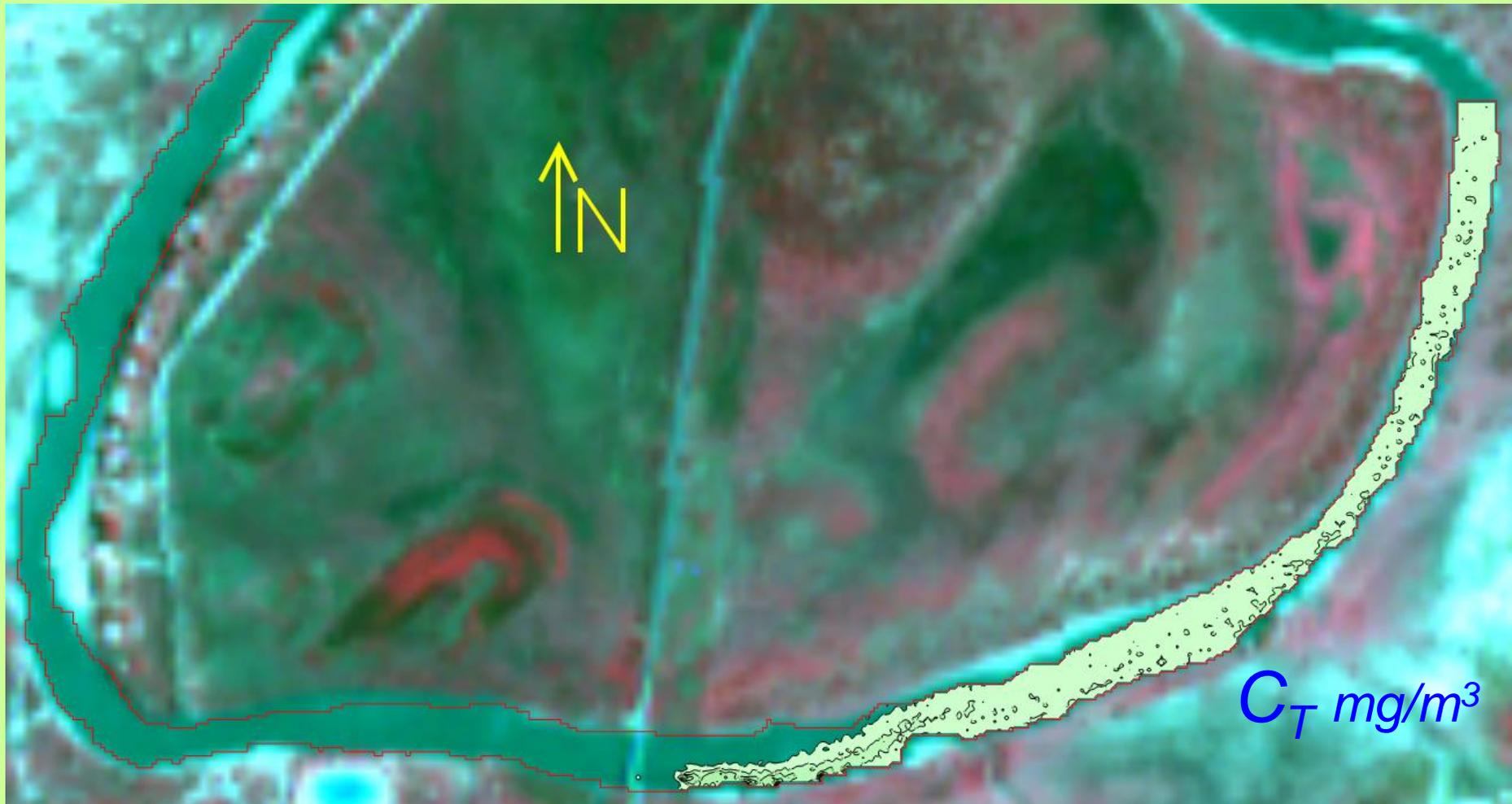
Pluma de concentraciones total de cromo en agua, C_T en
 $t = 2h$



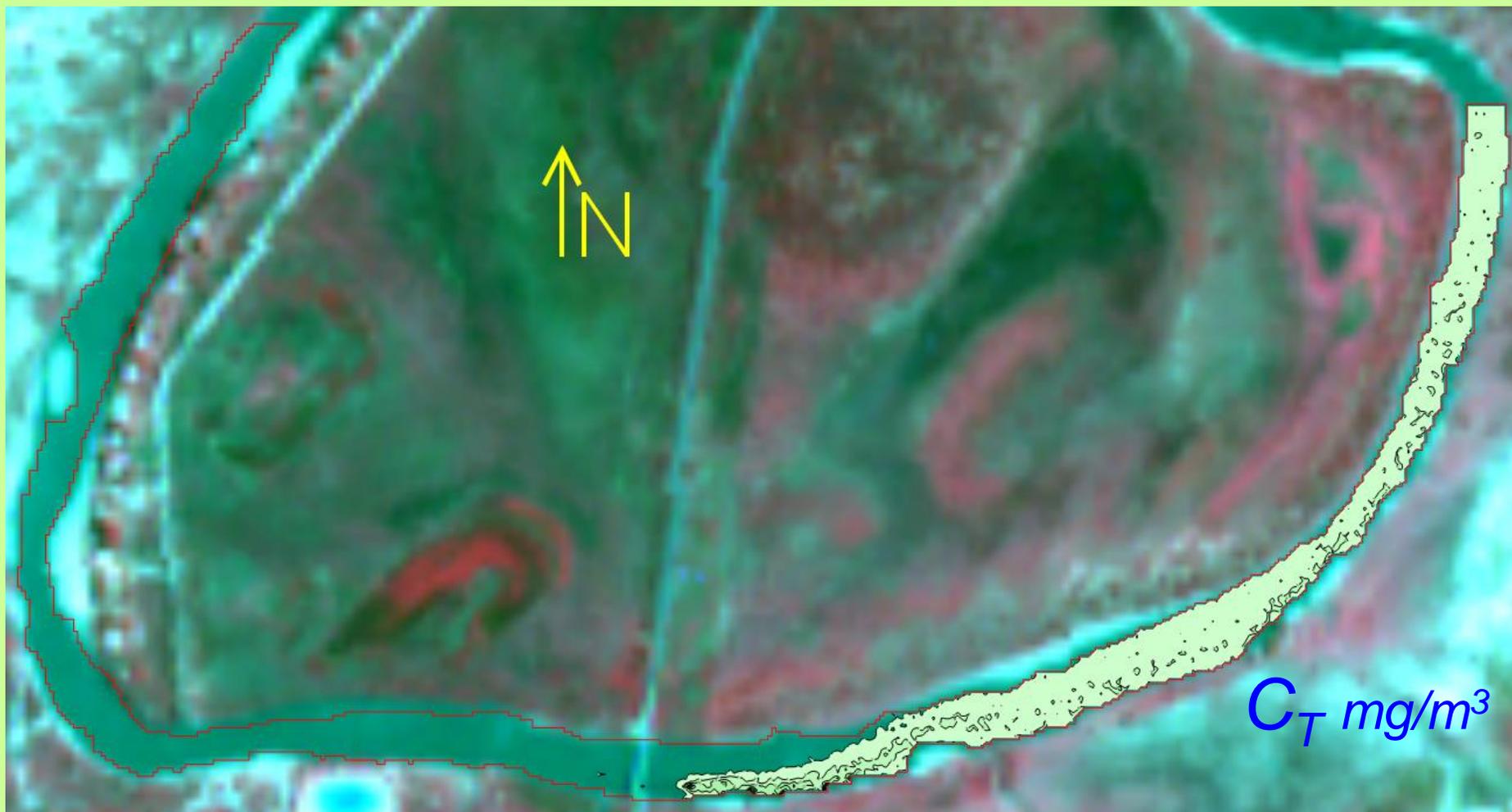
Pluma de concentraciones total de cromo en agua, C_T en
 $t = 3\text{h}$



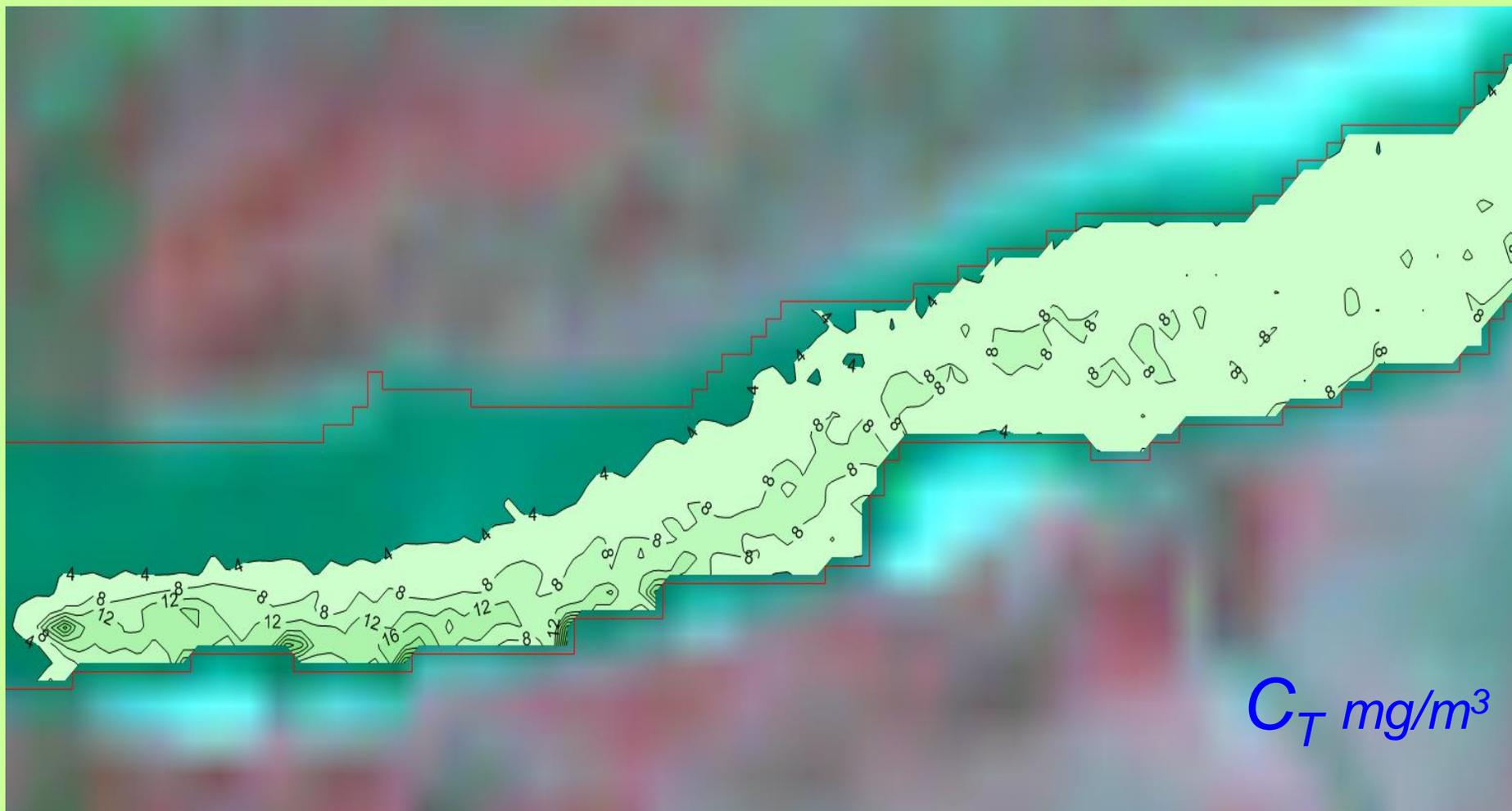
Pluma de concentraciones total de cromo en agua, C_T en
 $t = 4$ h



Pluma de concentraciones total de cromo en agua, C_T en
 $t = 6\text{h}$



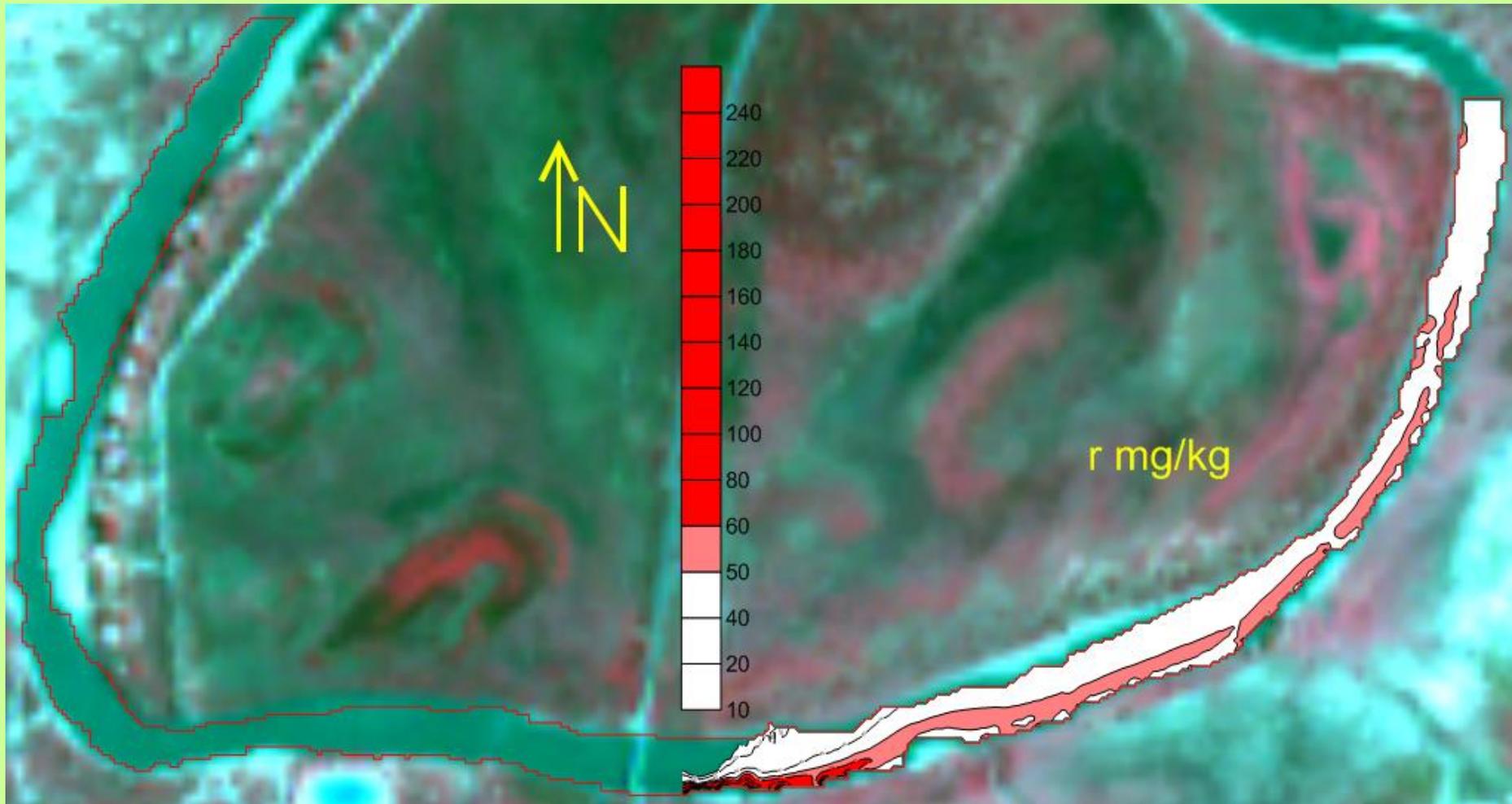
Pluma de concentraciones total de cromo en agua, C_T en
 $t = 8\text{h}$



**Pluma de concentraciones total de cromo en agua, C_T en
 $t = 8$ h**



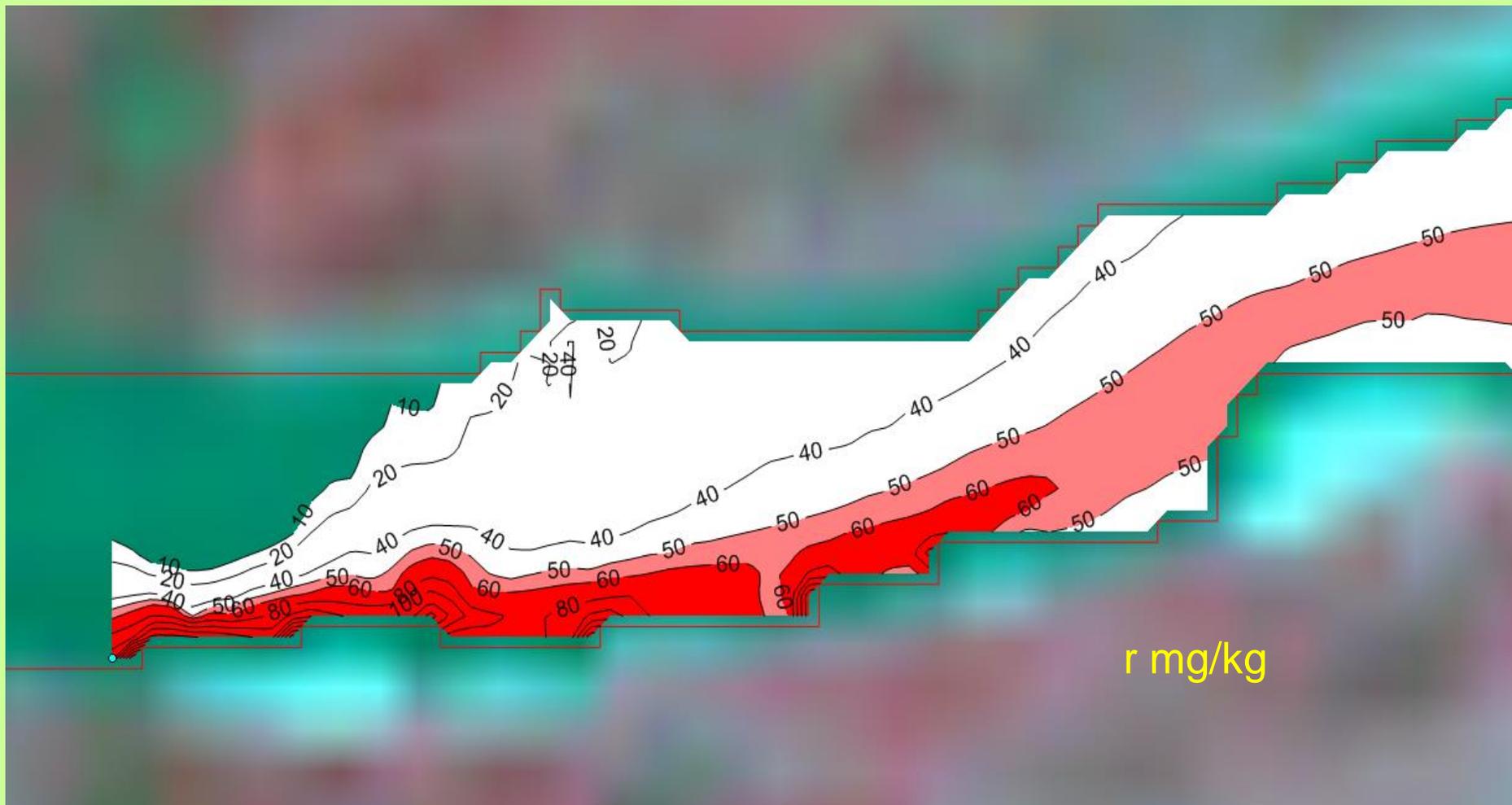
Pluma de concentraciones de cromo en el lecho,
 r en $t=4$ horas



**Pluma de concentraciones de cromo en el lecho,
 r en $t=40$ horas**



**Pluma de concentraciones de cromo en el lecho,
 r en $t=4$ horas**



**Pluma de concentraciones de cromo en el lecho,
 r en $t=40$ horas**

Conclusiones

Las concentraciones S_w y C_T se estabilizaron para $t = 6$ hs.

La distancia de mezcla completa en la sección transversal, se logró 400 m aguas abajo de la fuente, aproximadamente.

La escala temporal para estabilizar las C_T fue de 4 hs, mientras que el lecho requiere como mínimo 48 hs, en condiciones estacionarias y de equilibrio sedimentológico.

Las condiciones iniciales fueron relevantes, principalmente para calcular las concentraciones de cromo en el lecho.

Conclusiones

El tamaño de los flóculos se incrementó notablemente aguas debajo de la fuente sobre la margen derecha. El tamaño de equilibrio se registró al final del dominio.

Los resultados del modelo de partículas, son indicativos de un funcionamiento correcto del mismo en cuanto a los mecanismos de transporte.

Proyectos de investigación desarrollados en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL). Director: Alfredo E. TRENTO

- CAI+D 2009 Y 2011: **“Transporte de sedimentos finos en ambientes fluviales. Análisis, mediciones, floculación y simulación numérica.”**, subsidiado por la UNL. 2009-2012
- PICT RAICES: **“Transporte de Cromo y Sedimentos Finos en el río Salado (Santa Fe)”**, subsidiado por la ANPCyT-UNL. 2008-2011

Gracias !