

TALLER SOBRE GESTIÓN DE SEDIMENTOS EN EMBALSES

Estudio para la definición de un protocolo de remoción de sedimentos en la central Calderas

Por: Edier Aristizábal, Juan Camilo Múnera

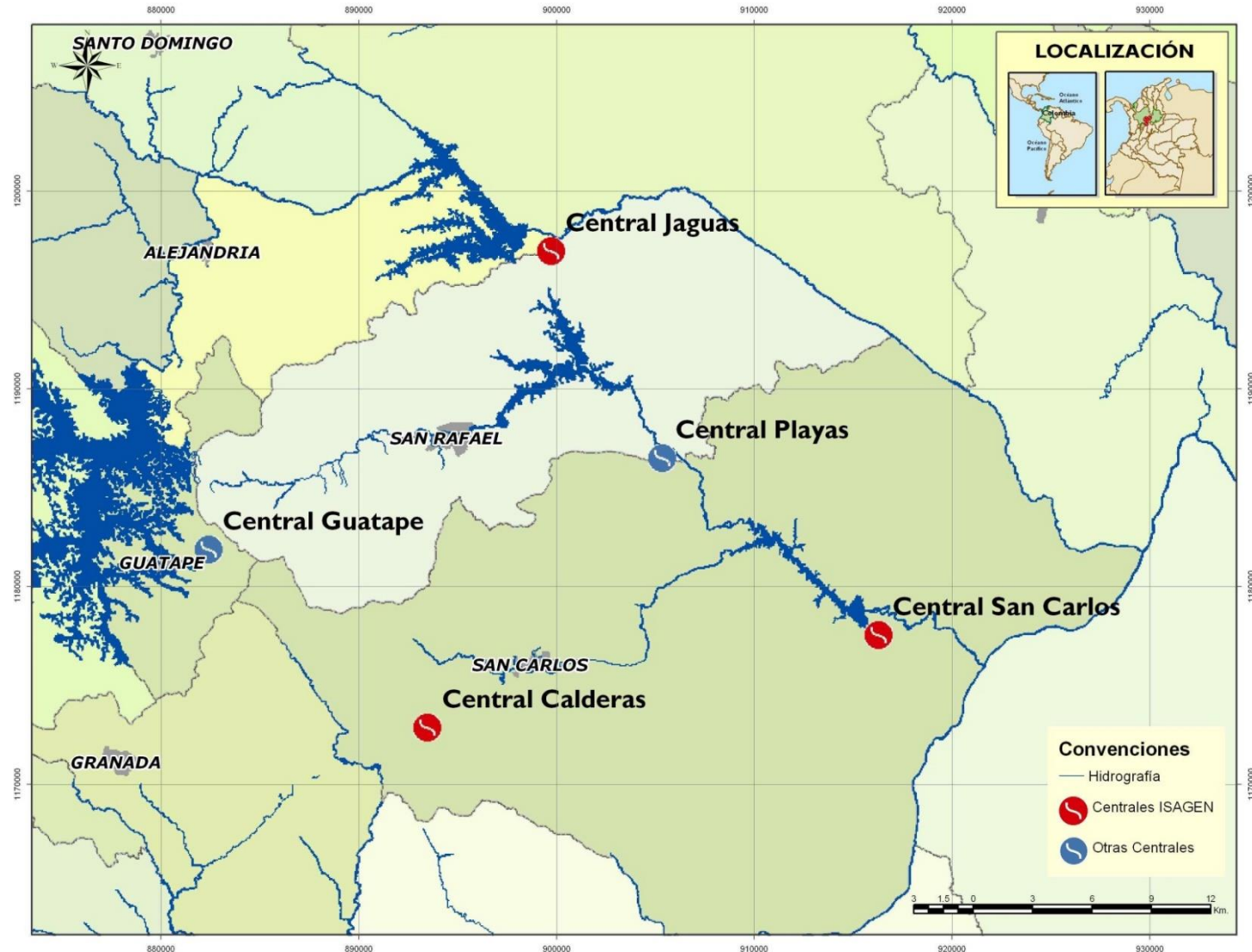
Mayo de 2015



CONTENIDO DE LA PRESENTACIÓN

- 1) Localización central Calderas
- 2) Problemática de sedimentos
- 3) Requerimientos de la ANLA e interacción
- 4) Manejo sostenible de embalses y Gestión Integral de sedimentos
- 5) Apertura de la descarga de Fondo (Aspectos técnicos)

CONTEXTO GENERAL: Localización



CONTEXTO GENERAL: Localización



Cadena Nare - Guatapé

CONTEXTO GENERAL: Características

- ✓ El embalse tiene una capacidad de almacenamiento total 370.000 m³, y volumen útil 176.000 m³. Área de embalse < 1,0 ha.
- ✓ Aprovecha las aguas de los ríos Calderas (5,2 m³/s) y Tafetanes (1,6 m³/s), con un caudal promedio de 6,8 m³/s, con una capacidad instalada de 19,9 MW, para producir anualmente 87 GWh.



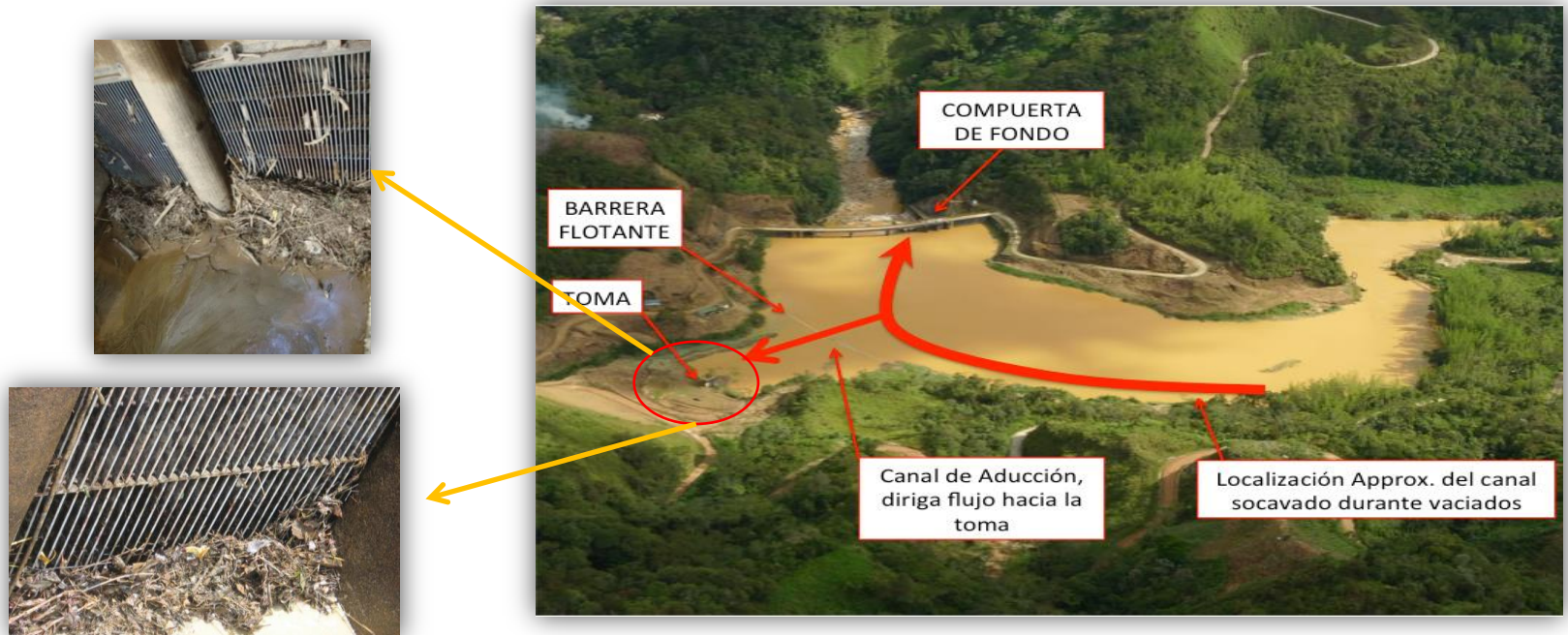
Central Calderas



Trasvase Tafetanes

PROBLEMÁTICA: Sedimentos

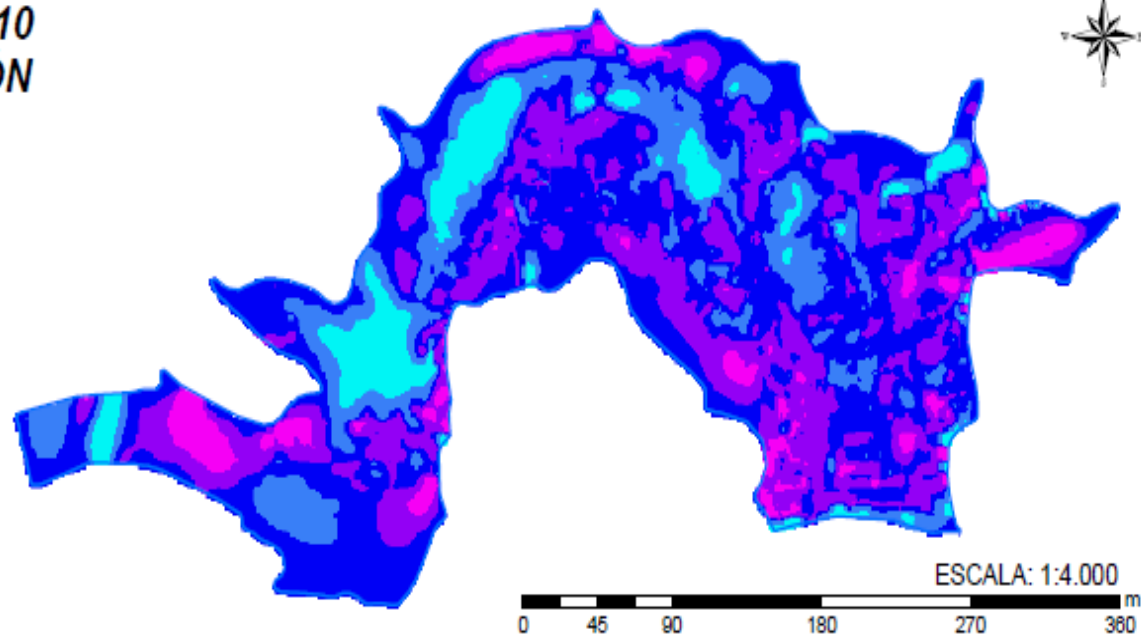
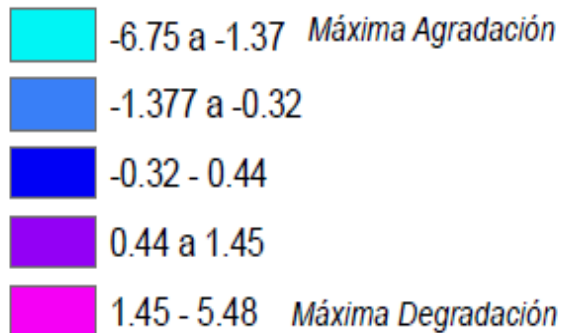
- ✓ Localización y el diseño en contrapendiente del canal de aducción con respecto a la dirección del flujo hacia la captación favorecen la depositación de sedimentos y pérdida de capacidad hidráulica.
- ✓ Los riesgos hidromecánicos inherentes al cambio de las condiciones hidráulicas en el punto de captación.
- ✓ Esta consideración de diseño exige un mantenimiento periódico de la reja y del canal.



PROBLEMÁTICA: Sedimentos

COMPARACIÓN AÑO 2009 - 2010 AGRADACIÓN Y DEGRADACIÓN

CONVENCIONES



Resolución 706 de 2012

“La autoridad considera más relevante asociado a aperturas de compuertas de descarga de fondo (duración y porcentaje de apertura), que corresponde a los caudales de dilución o respaldo hidrológico (caudales por la misma descarga de fondo y/o el rebosadero o estructuras adicionales de descarga aguas abajo) asociados a las descargas sólidas de sedimentos, de manera que las concentraciones netas de descarga sean acordes a condiciones naturales presentadas en los ríos Tafetanes y Calderas en época de crecientes, caudales de invierno o caudales pico y por tanto esta información debe ser presentada en un término no mayor a cuatro (4) meses a esta Autoridad para su evaluación y aprobación, requerimiento que se establecerá en el aparte “Resultados de la evaluación” del presente concepto técnico”

CONTEXTO GENERAL: Antecedentes

Fecha	Descripción
11/04/2013	Se presenta a la ANLA la propuesta para el desarrollo de un protocolo de remoción de sedimentos del embalse Calderas y trasvase Tafetanes.
24/06/2013	ISAGEN firma el convenio 47/0079 con el CTA para elaborar un protocolo para la descarga de sedimentos en la Central Hidroeléctrica Calderas.
19/09/2013	La ANLA acepta la propuesta, y autoriza las cuatro (4) aperturas en el plazo de un (1) año, y realiza requerimientos adicionales que implican una adición al convenio con el CTA.
13/11/2013	Se realizó la primera apertura de la compuerta con el acompañamiento de la ANLA.
11/04/2014	Se programa e informa la segunda apertura de la compuerta para el 14 de mayo de 2014.
09/05/2014	La ANLA solicita a ISAGEN cancelar la segunda apertura de la compuerta de la presa Calderas programada para los días 14 y 15 de mayo de 2014.
23/07/2014	La ANLA realiza requerimientos adicionales de monitoreo y análisis que implican una nueva adición al Convenio con el CTA.
27/10/2014	ISAGEN informa a la ANLA la fecha de la segunda apertura de la compuerta para el 26 de noviembre de 2014
25/11/2014	La ANLA comunica a ISAGEN la decisión de cancelar la segunda apertura de la compuerta.

MANEJO SOSTENIBLE DE EMBALSE:

Gestión Integral de Sedimentos

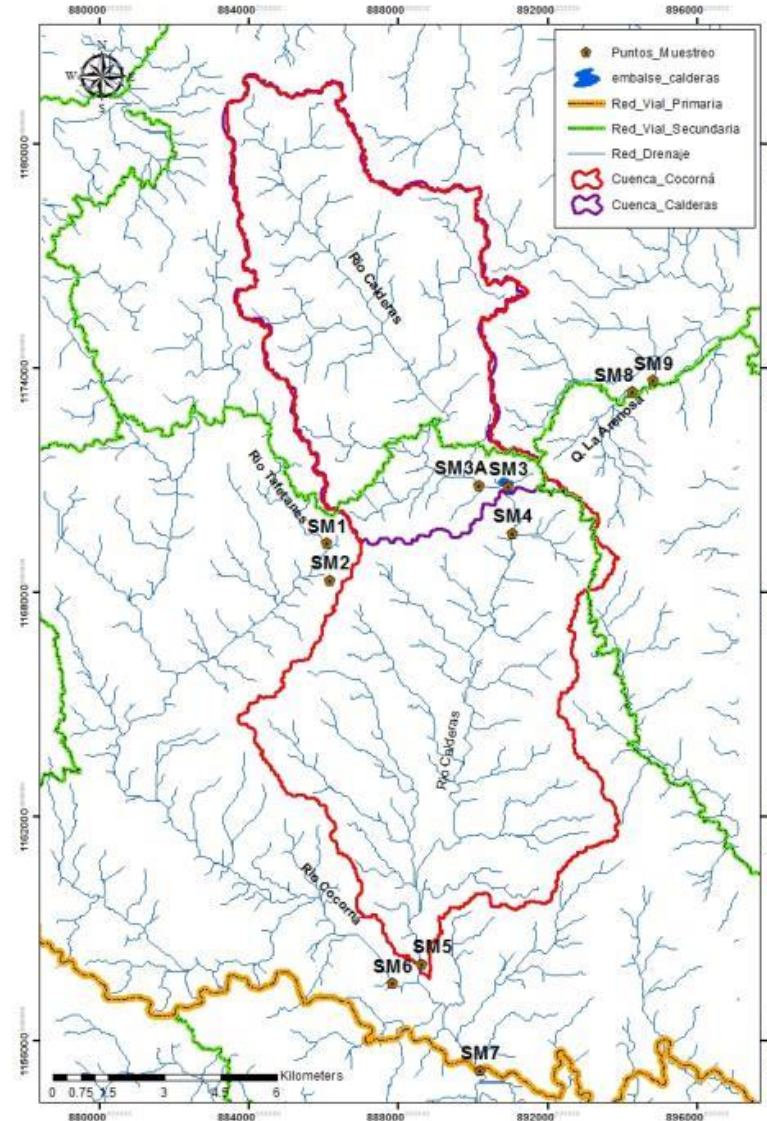
- ✓ Los sedimentos atrapados en el embalse son generados por la cuenca, y no deben entenderse dichos sedimentos como un impacto generado por el embalse. *Contaminación? Vertimiento?*
- ✓ La descarga de sedimentos corresponde a una medida de mitigación al impacto por el atrapamiento de sedimentos generado por las presas. *Cómo debe realizarse? Umbrales?*
- ✓ Las descargas periódicas reducen el impacto en términos cantidad de sedimentos, calidad por cambios en su composición y aporta los nutrientes necesarios para la salud del ecosistema acuático asociado. *Cada cuanto?*
- ✓ Las descargas de sedimentos preservan la vida útil de los embalses e impide la generación de impactos futuros por desmantelamiento de embalses colmatados o el impacto generado por construcción de nuevos proyectos. *Qué haremos con los sedimentos atrapados en un futuro?*
- ✓ Por lo tanto desde el punto de vista ambiental, el problema no es realizar descargas controladas y periódicas de sedimentos para restablecer las condiciones naturales del sistema fluvial; ***el problema realmente es...NO REALIZAR LAS DESCARGAS.***

APERTURA DE LA DESCARGA DE FONDO

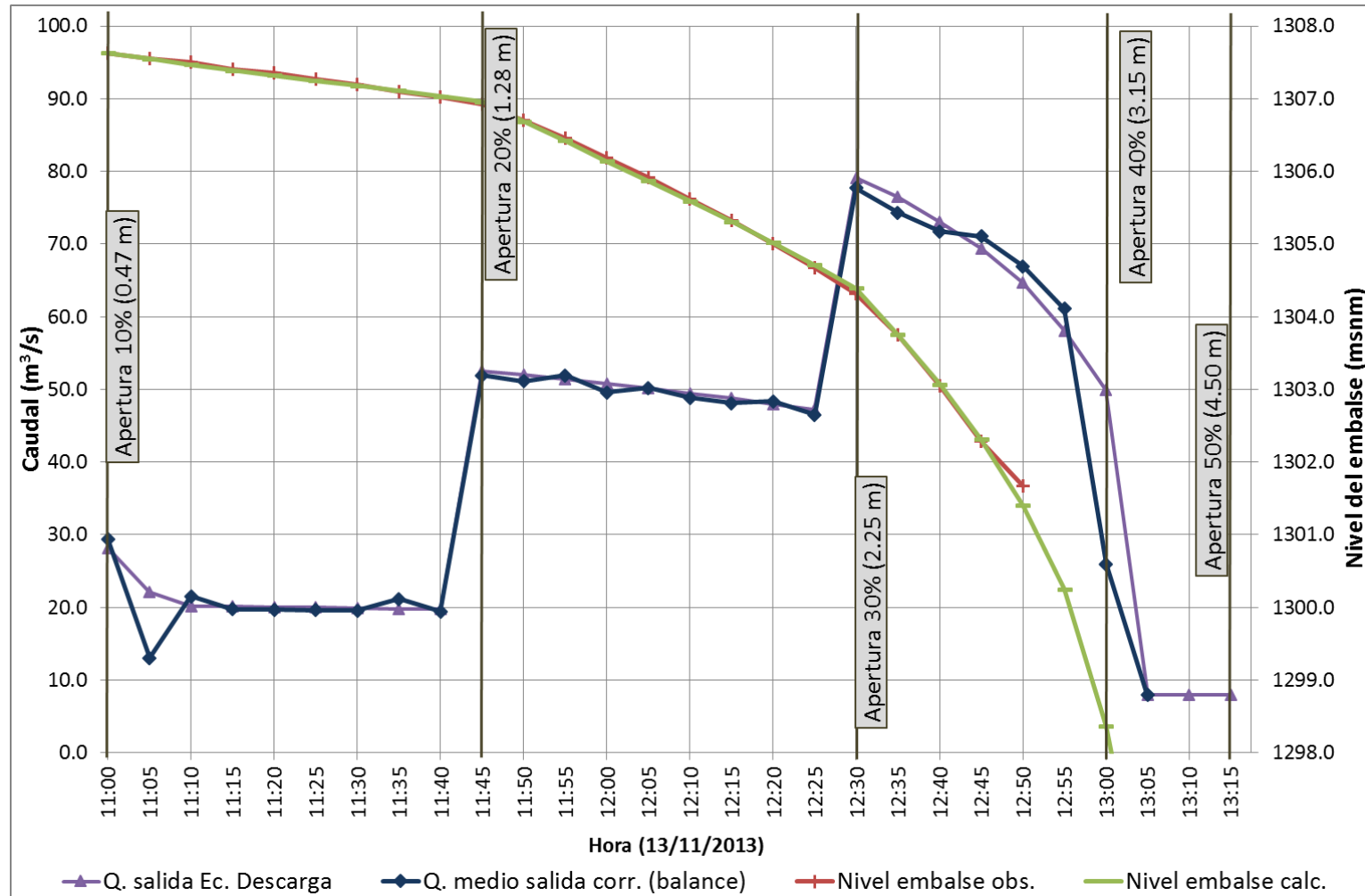
NOVIEMBRE DE 2013

Apertura de noviembre de 2013. Monitoreos antes, durante y después

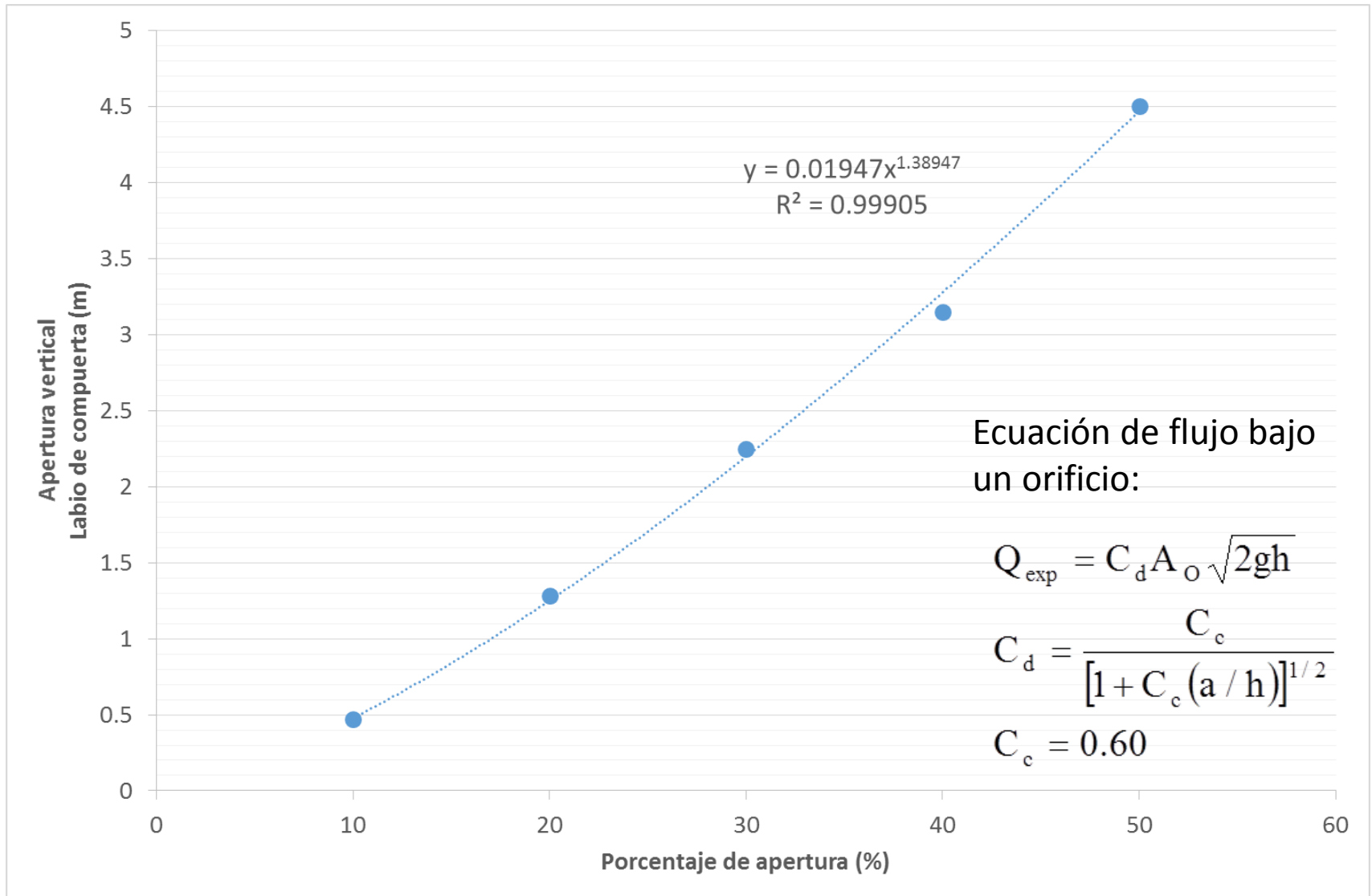
Cuenca Calderas y distribución de puntos de monitoreo



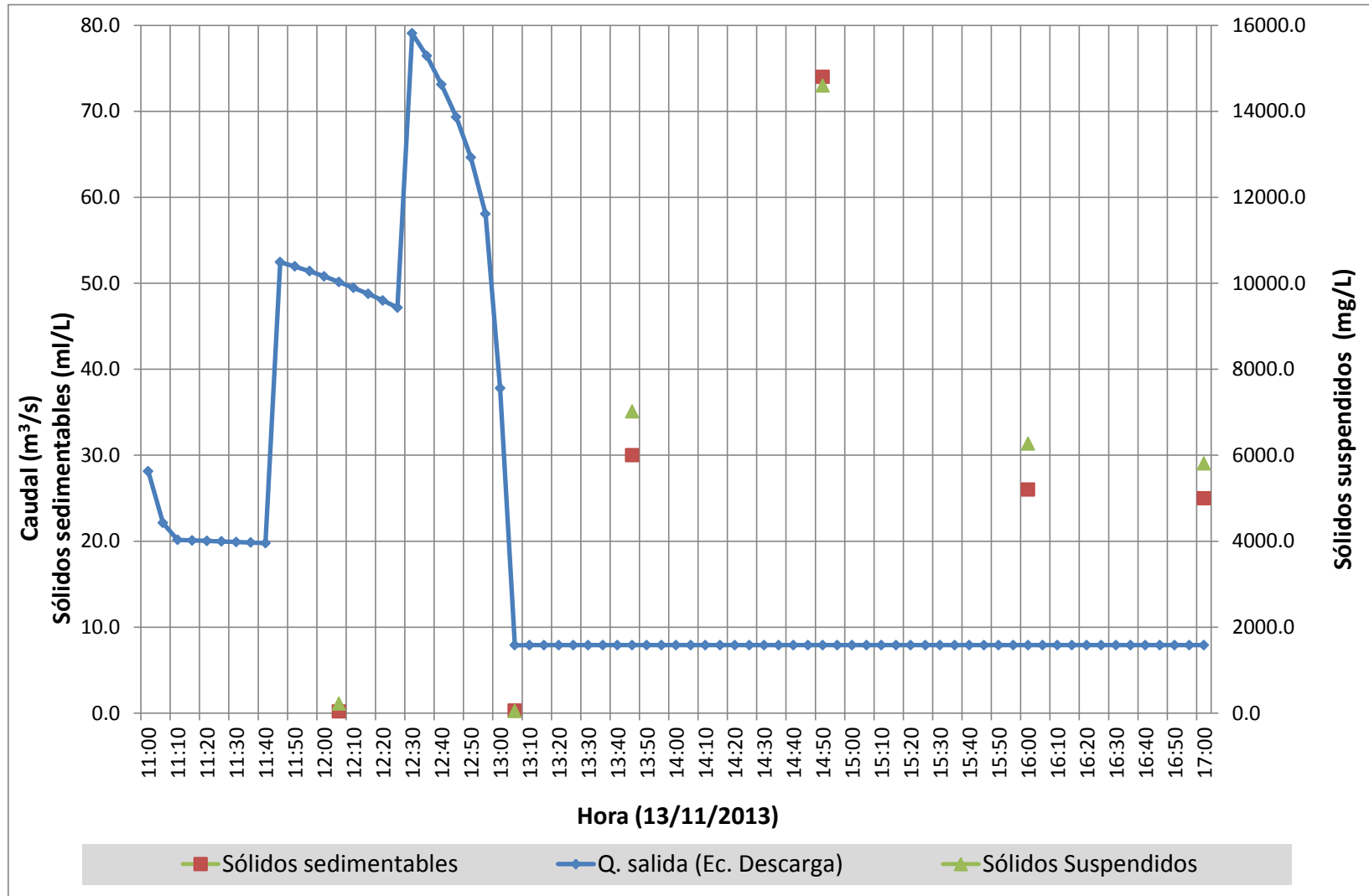
Apertura de noviembre de 2013. Reconstrucción hidrograma (ecn. balance)



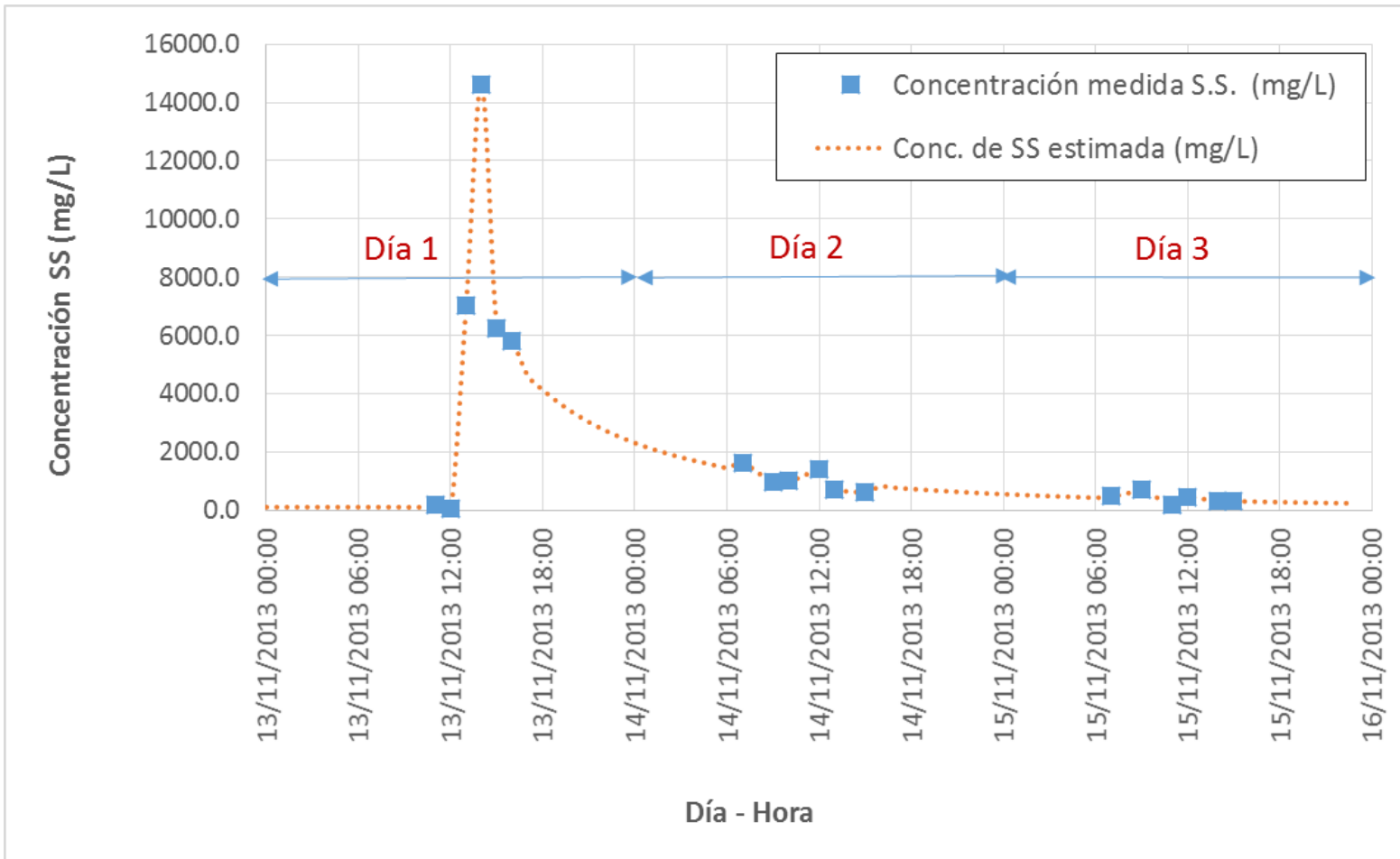
Apertura de noviembre de 2013. Calibración de la apertura de compuerta



Hidrograma de salida de la presa y sólidos observados en punto de monitoreo SM4

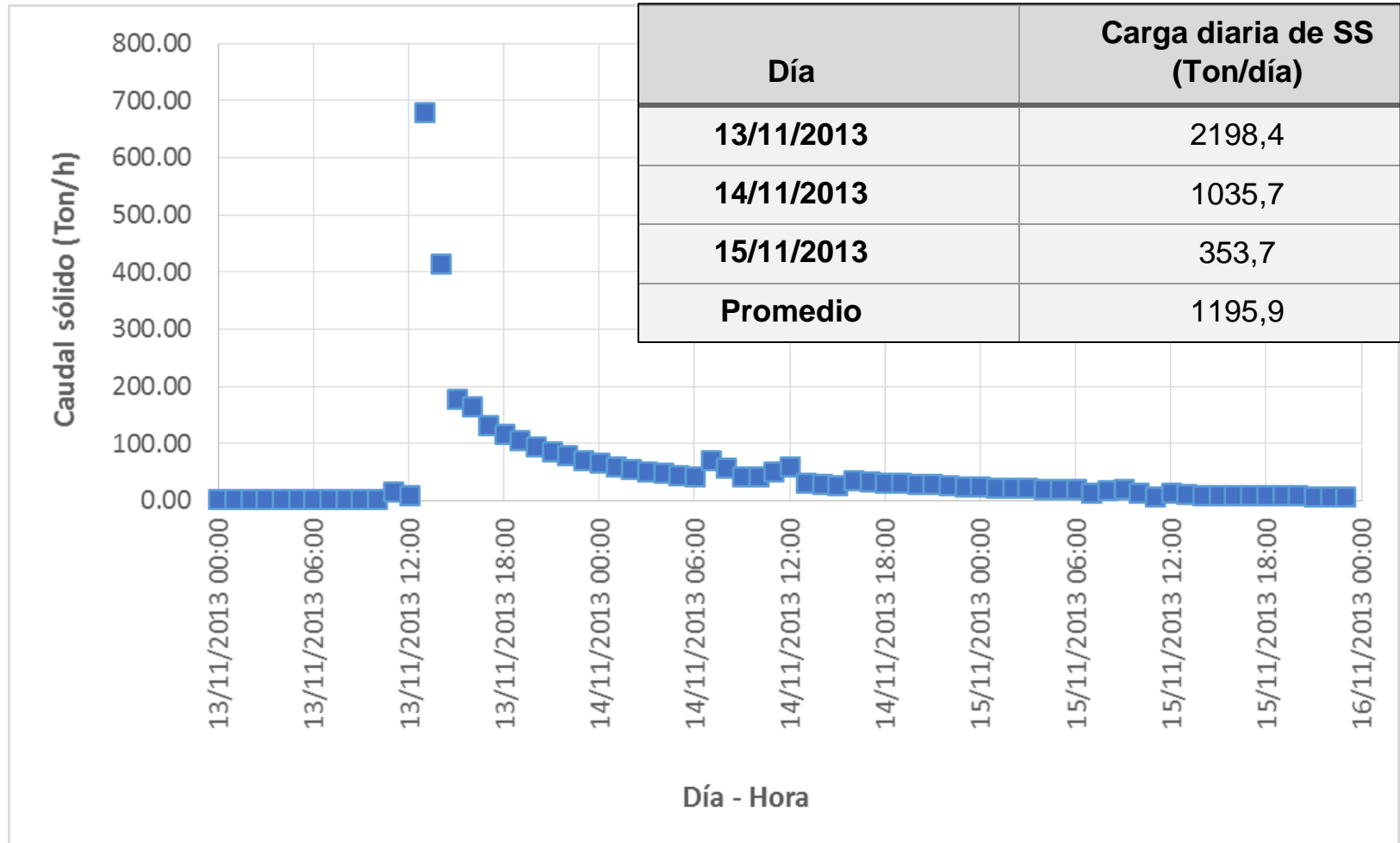


Estimación de cargas de sedimentos para la apertura de nov/2013



Ajuste de curva de recesión a la rama descendente del pulso del primer día y las observaciones del segundo y tercer día

Cargas de sedimentos estimadas a escala horaria, apertura nov/2013



Implementación de modelo de lavado de sedimentos del embalse (Descarga fondo)

Modelo ajustado a Sólidos Sedimentables observados en SM4

$$\frac{dV_s}{dt} = Q_e C_e - Q_s C_s - k \left[A \frac{d(h)}{dt} + h \frac{d(A)}{dt} \right]_{(t-\tau)}$$

Donde:

V_s : Volumen de sedimentos en el embalse

Q_e : Caudal de entrada

C_e : Concentración de entrada

Q_s : Caudal de salida

C_s : Concentración de salida

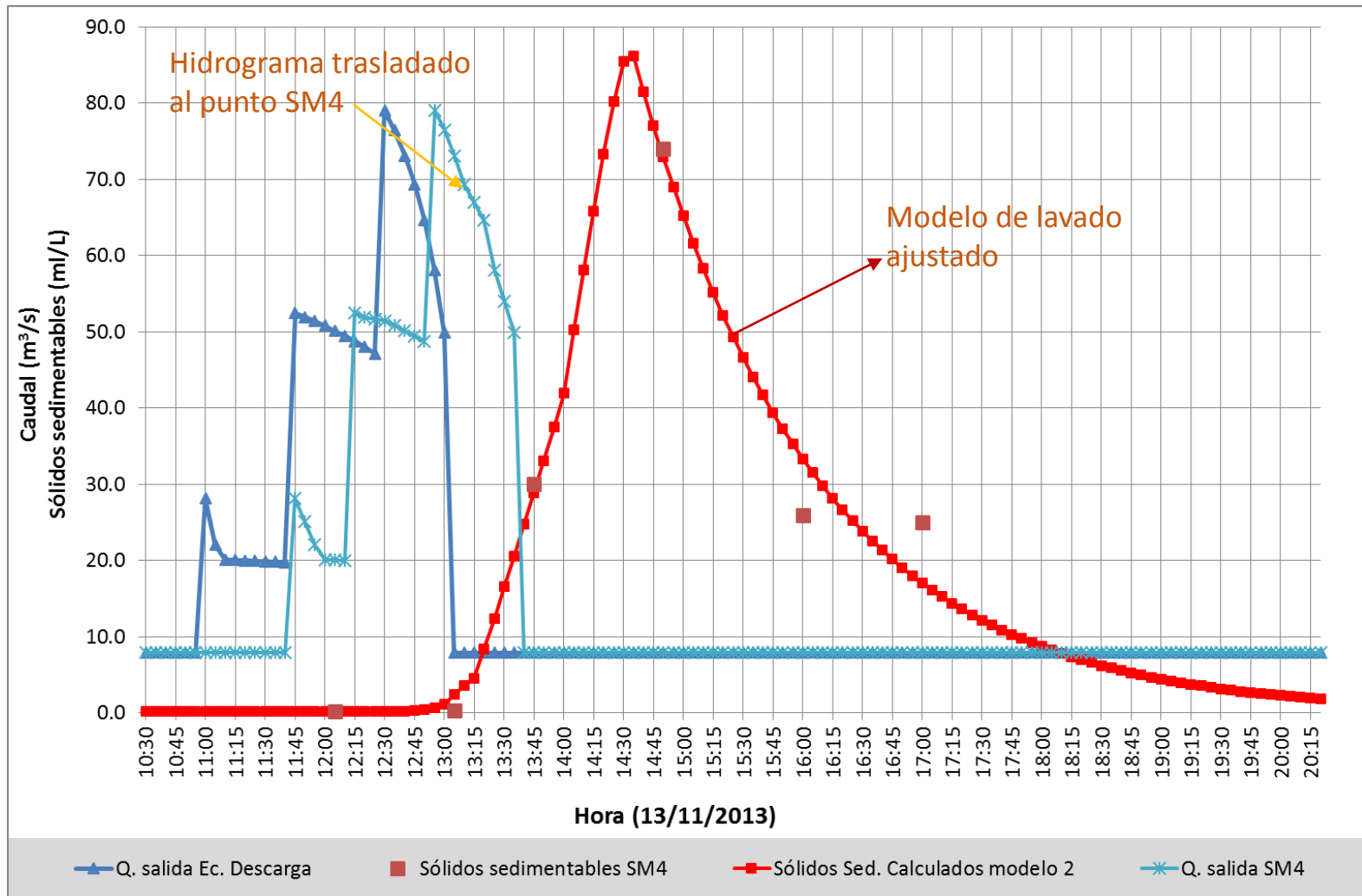
h : Nivel del embalse

A : Área superficial del embalse

k : Tasa de aporte (lavado) de sedimentos del embalse

τ : Tiempo de antelación o de desfase

Resultados ajuste de modelo de lavado de sedimentos del embalse (Descarga fondo)



Análisis Regional de cargas de sedimentos naturales en el oriente antioqueño

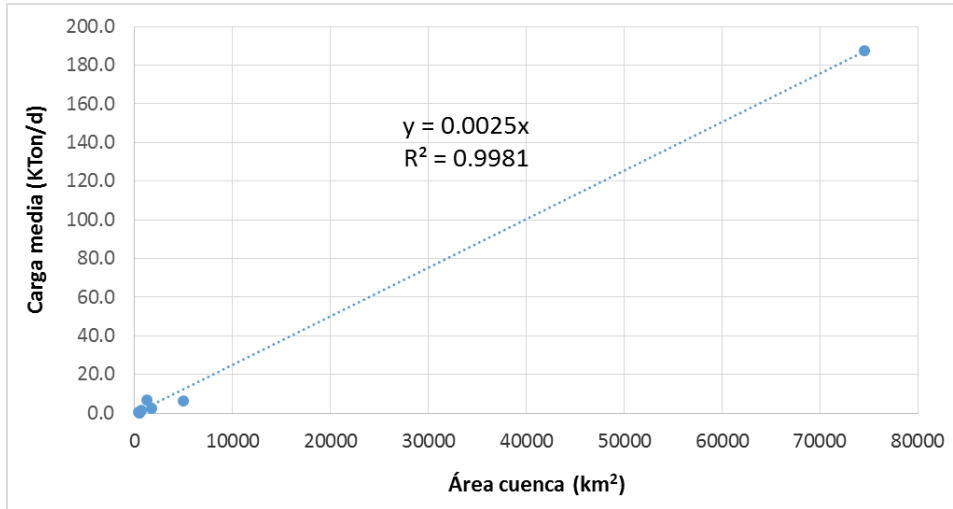
Estimación de valores extremos de cargas diarias (medias mensuales) en el río Calderas

Series históricas de caudales y cargas de sedimentos Estaciones Hidrométricas del IDEAM

Código	Nombre	Cuenca	Municipio	Lat (N)	Lon (W)	Area (Km2)	Carga media sed (Kton/día)	Caudal medio (m ³ /s)
2307702	Pte Ferrocarril	Cocorna	Puerto Triunfo	06:02'	74:39'	743.78	1.351	53.6
2305714	San Miguel	La Miel	Sonson	05:47'	74:40'	1295.7	7.001	243.47
2309703	Pto Berrio	Magdalena	Puerto Berrio	06:30'	74:23'	74565.71	187.515	2409.12
2308721	Cantera	Nare	Pto Nare	06:13'	74:38'	4981.08	6.453	395.33
2308715	Pte Real	Negro	Rionegro	06:09'	75:23'	467.16	0.070	6.69
2308716	Caramanta	Nus	San Roque	06:30'	74:52'	369.33	0.416	15.54
2308719	La Garrucha	Samana Norte	San Luis	06:04'	74:54'	1782.73	2.497	188.56

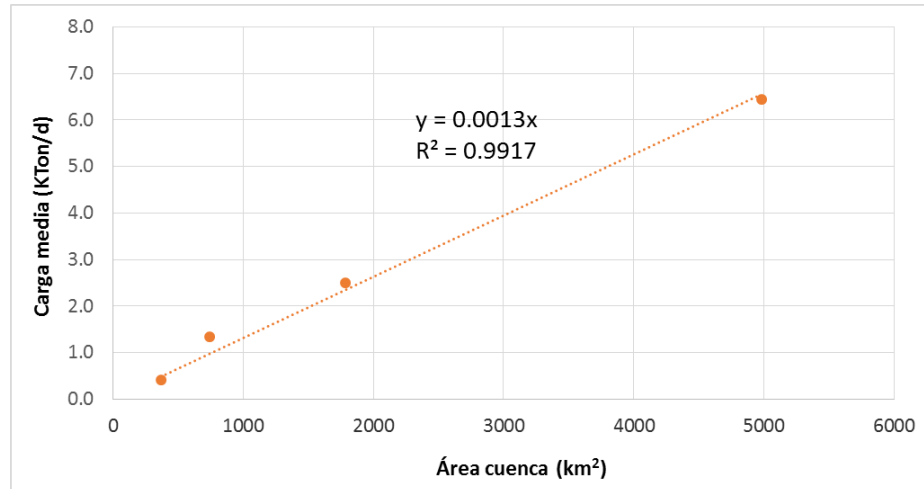
Análisis regional de cargas diarias de sedimentos

Relación entre Carga media y Área de la cuenca



Estaciones Pte Ferrocarril, Cantera, Caramanta y La Garrucha

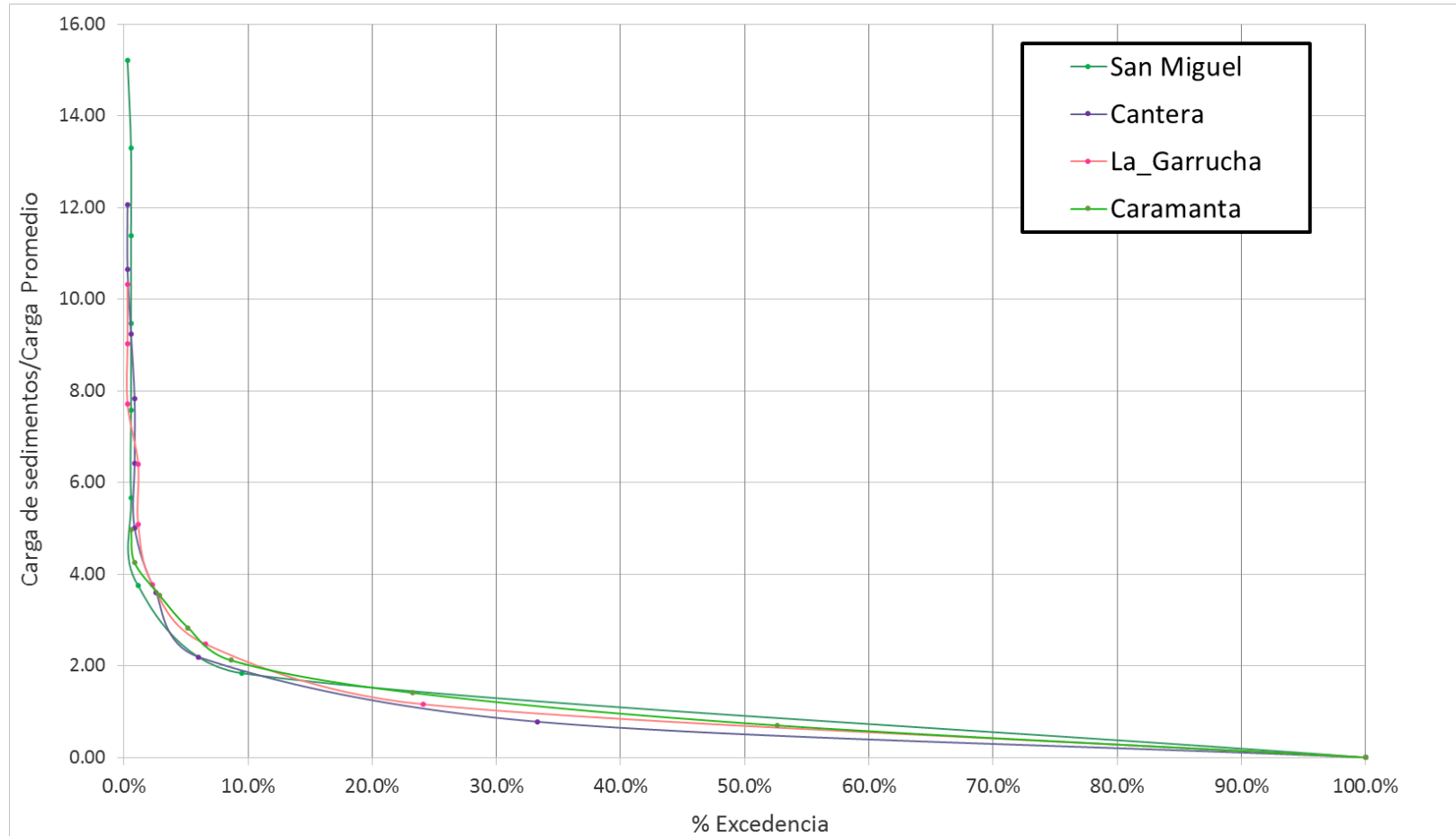
Todas las estaciones (incluyendo Pto Berrío)



Carga media Calderas: 82.0 – 157.8 Ton/d

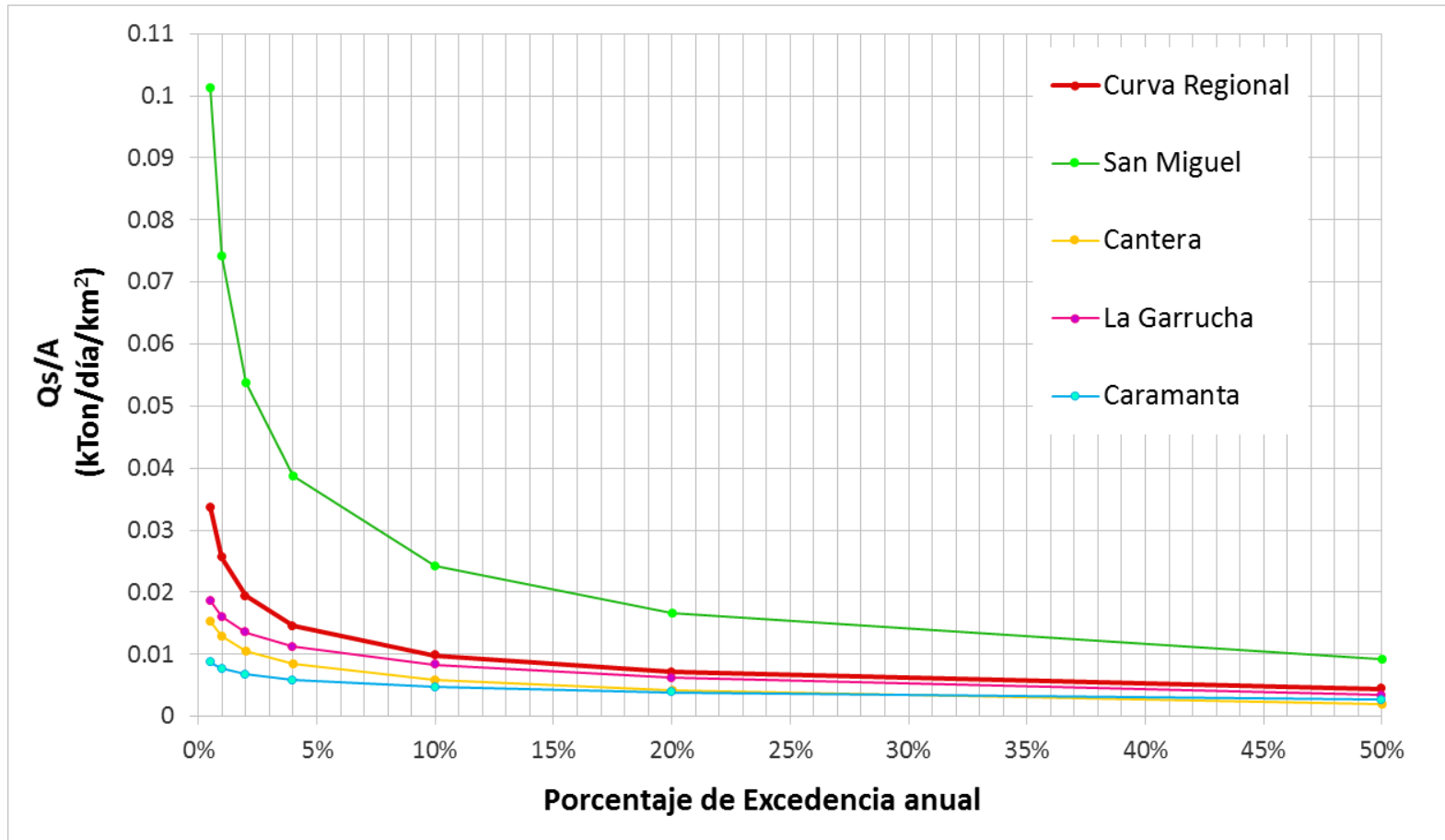
Análisis regional de cargas diarias de sedimentos

Curvas de duración adimensionales Cargas diarias (medias mensuales)



Análisis regional de cargas diarias de sedimentos

Análisis de Frecuencias de cargas de sedimentos máximas diarias (series de valores medios mensuales)



Análisis regional de cargas diarias de sedimentos

Cargas de sedimentos máximas diarias estimadas

(Tr = 100 años)

Área Calderas = 63,1 km²

Variable	Curva de Frecuencias La Garrucha	Curva de Frecuencias Regional
Carga SS por unidad de Área (KTon/d/Km ²)	0.0160	0.0256
Carga SS Calderas (Ton/d)	1011	1617

Impacto de la descarga de sedimentos de un embalse sobre los peces

Cuáles son las concentraciones de sedimentos aceptables para los peces?

Cuáles son las concentraciones aceptables para los peces?

- ✓ El impacto de la descarga de fondo de un embalse sobre los peces es función tanto de la concentración de Sólidos Suspendidos (SS), como de la Duración (D) del evento.
- ✓ En términos generales: a mayor concentración de SS y a mayor duración, mayor impacto sobre los peces.
- ✓ **Newcomb and MacDonald (1991)** llegaron a la conclusión que es la combinación de la concentración de SS y el tiempo de exposición lo que determina el impacto y desarrollaron un índice de estrés que tiene en cuenta ambas variables (pero no lo correlacionaron directamente con el impacto):

$$\text{Stress index} = \ln [\text{Concentration (mg/l)} \times \text{Duration (hours)}]$$

- ✓ **Newcomb and Jensen (1996)** analizaron 80 estudios sobre la materia y ajustaron 6 ecuaciones empíricas a los datos observados para diferentes grupos de peces (salmónidos y no salmónidos, juveniles y adultos, agua dulce o estuarina)

Cuáles son las concentraciones aceptables para los peces?

Impacto sobre especies de peces no salmónidas

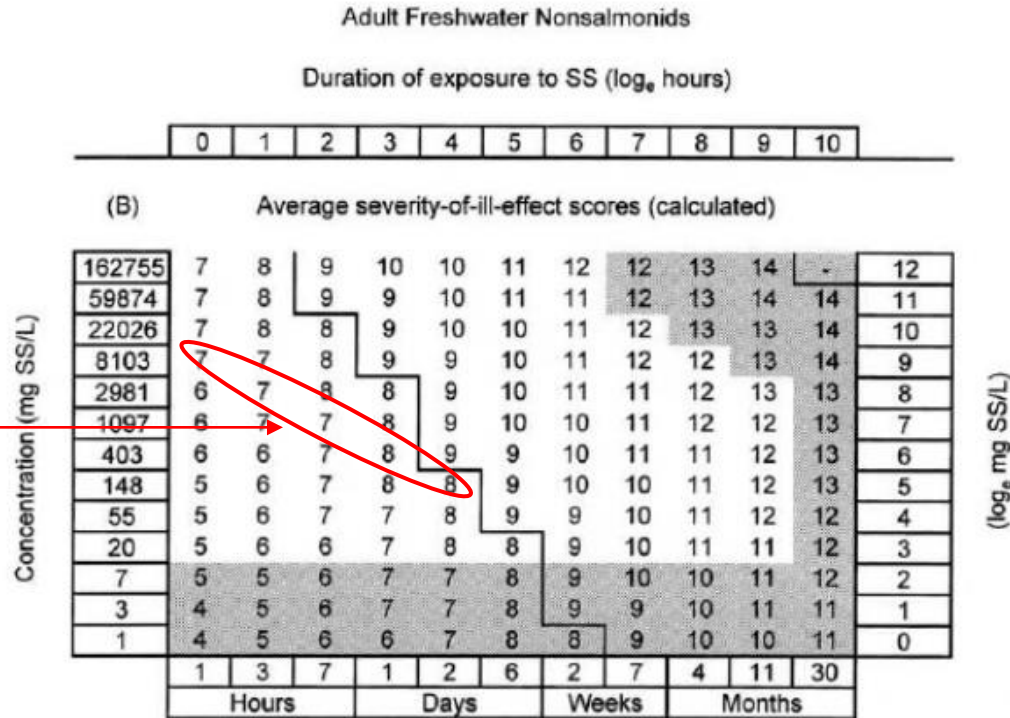


Figure 5: Modelled response of non-salmonid adult freshwater fish to concentration of suspended sediment and exposure. X axis: duration; Y axis: concentration in mg/L; impact: 4: reduction in feeding rates; 5: impaired homing; 6: poor condition of organism; 7: moderate habitat degradation; 8: physiological stress and histological changes; 9: reduction in growth rates; 10: 0 to 20% mortality; 11: > 20 to 40% mortality; 12: >40 to 60% mortality, severe habitat degradation; 13: > 60 to 80% mortality; 14: >80 to 100% mortality. Shaded areas represent extrapolations beyond empirical data. Diagonal terraced line denotes thresholds of sublethal effects. Source: Newcombe and Jensen 1996.

Fuente: BARAN E. and NASIELSKI J. (2011)

Propuesta de Protocolo de apertura de compuertas de la descarga de fondo

mayo de 2015

Consideraciones de la apertura de mayo de 2015

- ✓ Apertura simultánea en los embalses Tafetanes y Calderas
- ✓ Batimetría del embalse realizada en forma previa a la apertura
- ✓ Programa de monitoreos de variables físicoquímicas, hidrobiológicas e hidrosedimentológicas antes, durante y después de la apertura en 5 puntos de monitoreo para Calderas (SM3, SM4, SM5, SM6 y SM7) y en dos puntos para Tafetanes (SM2 y SM6).
- ✓ Pulso de 2 minutos de duración previo a la apertura definitiva para alertar a los peces (recomendación biólogos de ISAGEN)
- ✓ Análisis y evaluación de composición del agua y los sedimentos en el embalse previo a la apertura
- ✓ Puesta en marcha del plan de contingencia por eventos sobre los colectivos humanos (PADEC)

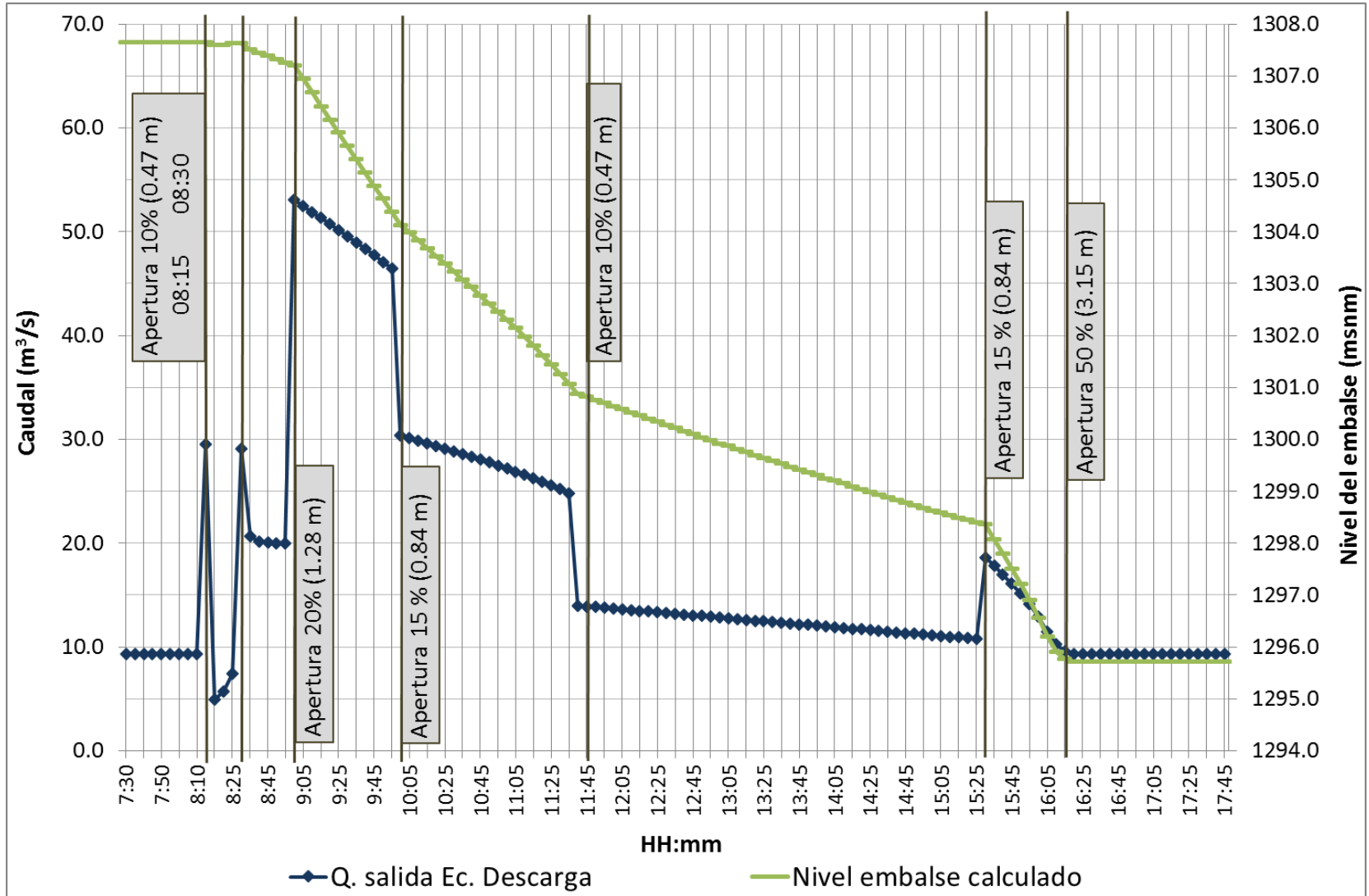
Escenario Qmedio ($Q = 9.3 \text{ m}^3/\text{s}$)

Protocolo maniobra de apertura

Hora	Maniobra	Duración (min)	Equivalencia en (%) de apertura	% Apertura Total	Observaciones
Pulso previo					
08:15:00	Abrir Compuerta D.F.	1	10	10	Se abre la compuerta al 10%, se deja abierta durante 2 minutos, y luego se cierra por completo
08:16:00	Parar Compuerta D.F.				
08:18:00	Cerrar Compuerta D.F.	1	10	0	
08:19:00	Compuerta cerrada				
Apertura definitiva					
08:30:00	Abrir Compuerta D.F.	1	10	10	A las 8:30 se inicia la apertura definitiva (queda al 10 %)
08:31:00	Parar Compuerta D.F.				
09:00:00	Abrir Compuerta D.F.	1	10	20	A las 9:00 se abre un 10 % adicional (queda al 20 %)
09:01:00	Parar Compuerta D.F.				
10:00:00	Cerrar Compuerta D.F.	0.50	5	15	A las 10:00 se cierra un 5 % (queda al 15 %)
10:00:30	Parar Compuerta D.F.				
11:40:00	Cerrar Compuerta D.F.	0.50	5	10	Al alcanzar la cota 1301.0 msnm se cierra un 5 % (queda al 10%)
11:40:30	Parar Compuerta D.F.				
15:30:00	Abrir Compuerta D.F.	0.50	5	15	A las 15:30 o al alcanzar la cota 1298.0 msnm se abre un 5 % (queda al 15%)
15:31:00	Parar Compuerta D.F.				
16:15:00	Abrir Compuerta D.F.	3.50	5	50	Al observar el embalse vacío se abre un 35% (se deja al 50 %)
16:19:00	Parar Compuerta D.F.				

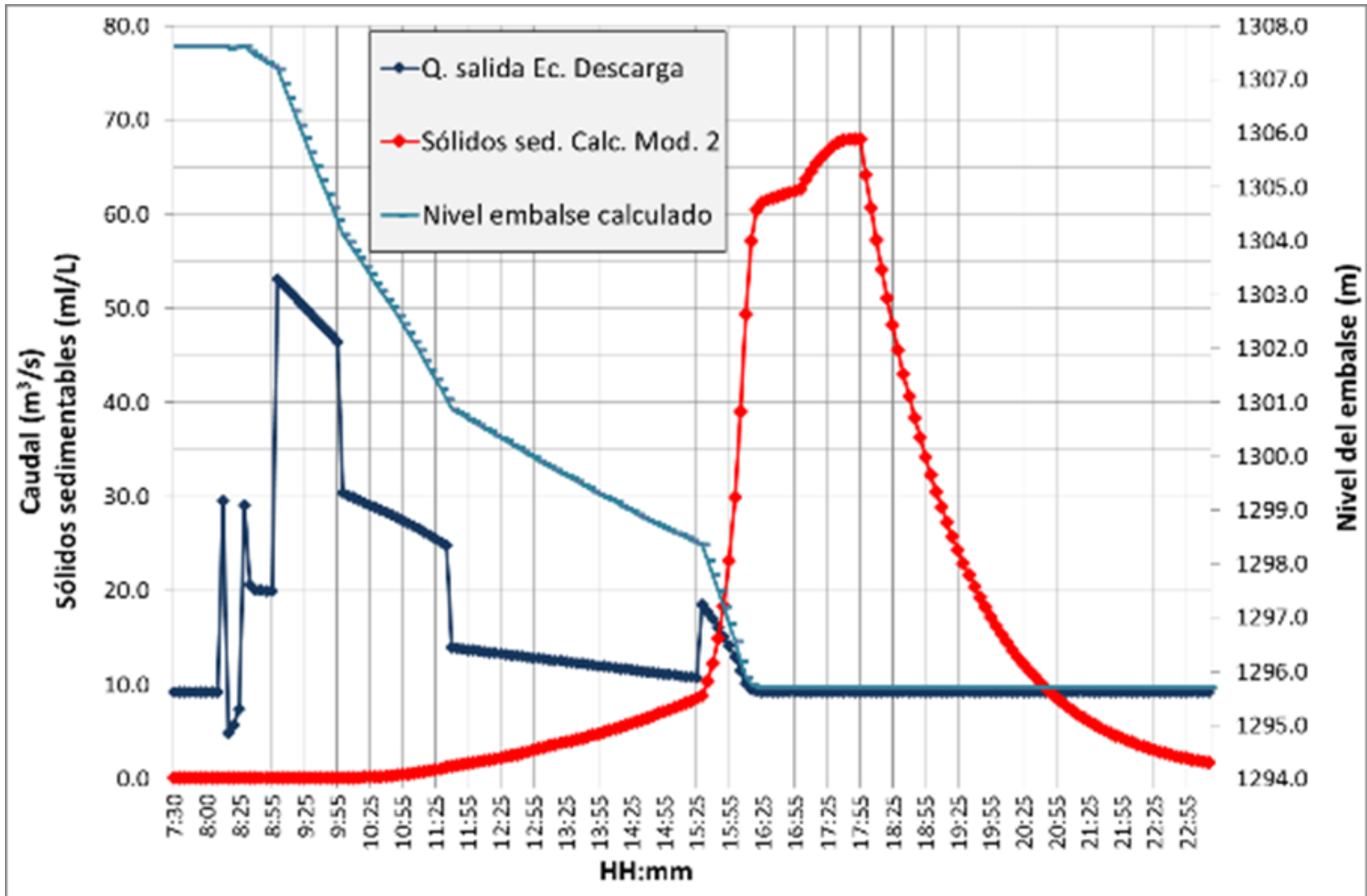
Escenario Qmedio (Q = 9.3 m³/s)

Simulación maniobra de apertura propuesta



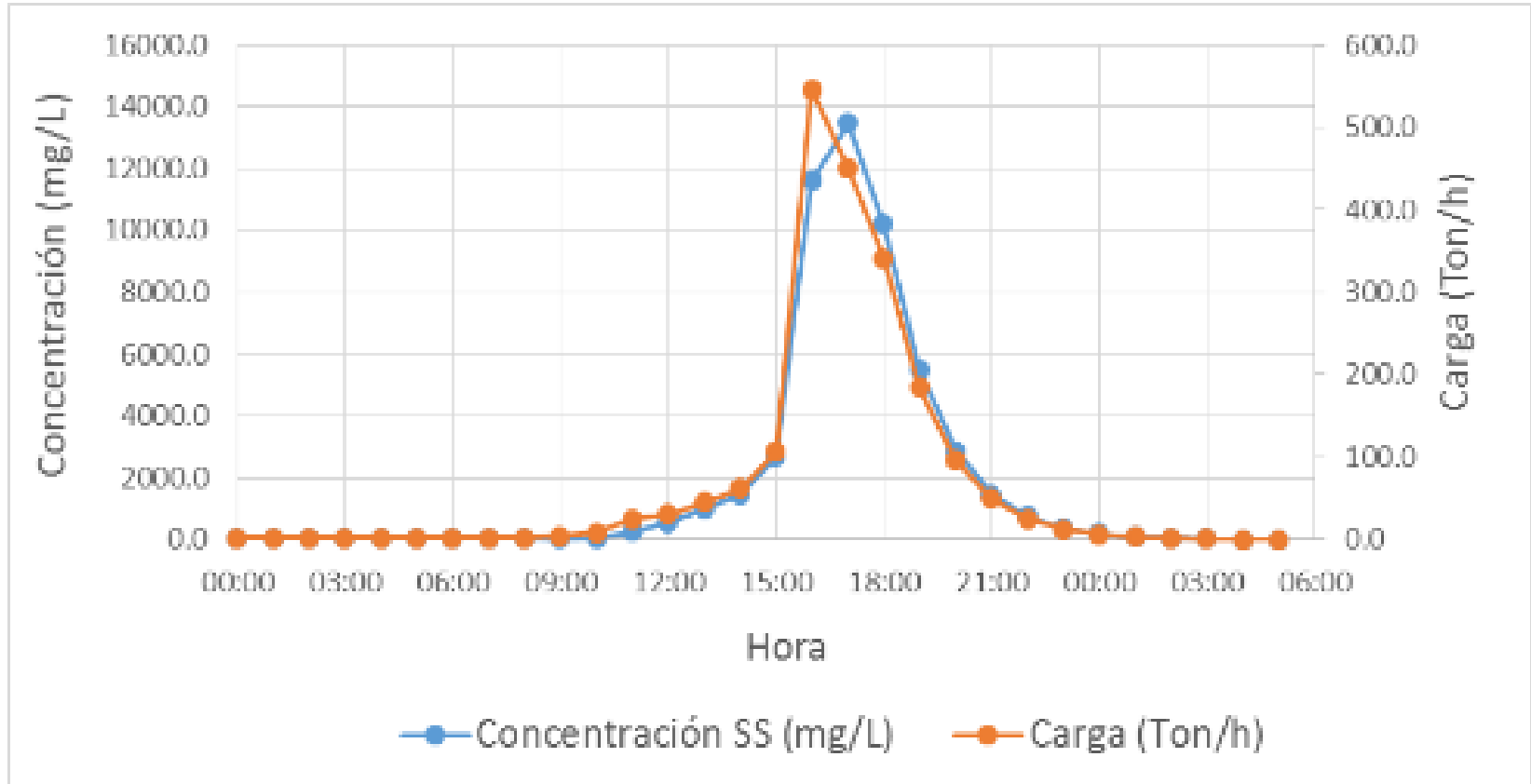
Escenario Qmedio (Q = 9.3 m³/s)

Sedimentograma simulado



Escenario Qmedio ($Q = 9.3 \text{ m}^3/\text{s}$)

Cargas máximas estimadas de sedimentos



Carga diaria estimada el día de la apertura:
2002 Ton/d

Conclusiones

- ✓ La descarga de sedimentos acumulados en los embalses es una medida de mitigación ante el impacto generado por el atrapamiento de sedimentos por las presas, y va en la dirección de un manejo sostenible de embalses que incrementa su vida útil (que de otro modo sería necesario desmontar y reemplazar por otros equivalentes) y además contribuye al equilibrio sedimentológico y biogeoquímico de las cuencas.
- ✓ Por lo que se debe propender por realizar descargas periódicas que consideren y mitiguen los impactos ambientales que se puedan presentar aguas abajo, y la mejor estrategia es restablecer y reporducir las condiciones naturales del sistema fluvial.
- ✓ Se presentan los resultados de la apertura de noviembre de 2013 en la Central Calderas. Los datos recopilados durante la apertura permiten hacer una estimación de las concentraciones y cargas de sedimentos durante la descarga.
- ✓ Se comparó la carga de sedimentos evacuados en la apertura de 2013 con las cargas de sedimentos asociadas a eventos extremos estimadas mediante un análisis regional, a partir de datos sedimentológicos medios mensuales en la región del oriente de Antioquia. Los resultados evidencian que la descarga de fondo tiene un orden de magnitud similar.



Gracias

