2013

PE - 93

Visita de la estación de Chosica Observaciones y recomendaciones para establecer un protocolo de muestro de sedimentos en pequeñas cuencas de márgenes continentales activas

Río Rímac o "Mayo Rímac" el "río hablador" (en Quechua)

26 de Marzo del 2013

William Santini IRD
Jorge Carranza SENAMHI

Publicación SO-HYBAM

INTRODUCCIÓN

Los flujos líquidos y sólidos de las pequeñas cuencas montañosas que vierten en las márgenes activas de los océanos son difíciles a estimar, y en el caso la carga sedimentaría, ampliamente sub-estimados. En efecto, las secciones de las estaciones hidrométricas se escavan y se llenan con las oscilaciones de caudal del río, lo que pide una fuerte inversión económica para establecer relaciones nivel-caudal confiable. Al nivel de la estimación de los flujos sólidos, eventos episódicos pueden llevar en algunas horas una grande cuantidad de sedimentos (sismos, deslizamientos, flash-flood). Por fin, el acción del ser humano ha profundamente alterado la dinámica hidro-sedimentaría de esas cuencas (represas, agricultura, deforestación…).

Como todos los servicios hidrológicos del mundo, el SENAMHI encuentra dificultades a monitorear esos ríos, cuyos aportes en aguas son vitales para las poblaciones y la economía de la vertiente del Pacifico del país en stress hídrico.

El río Rímac baja las pendientes de la vertiente occidental de la cordillera de los Andes. Su Naciente se ubica en el nevado Paca (5 500 m) y su área de cuenca es de ~3 200 km^2. Su caudal no es determinado con precisión (~ 36 m^3/s según nuestra estimación en la estación de Chosica), aunque el río sea la principal fuente de alimentación (78 %) en aguas potable de la ciudad de Lima. Es unos de los ríos más contaminados del Perú (fuerte actividad minera). La cuenca cuenta numerosas embalses (Yuracmayo, Sheque, Antacoto…) y centrales hidroeléctricas (Huampani, Moyopampa, …). Para completar el cuadro, la cuenca es directamente impactada por la variabilidad climática (ENSO, calentamiento global y deshielo). Proyecciones futuras muestran una subida de los caudales de estiaje (Salas, 2008).

La estación hidrométrica de Chosica es una de las más antiguas del Perú y la más cerca de Lima. Es también la única estación con datos de aforos. Se aprovechó del periodo de avenidas en el río Rímac para visitar la estación de Chosica y:

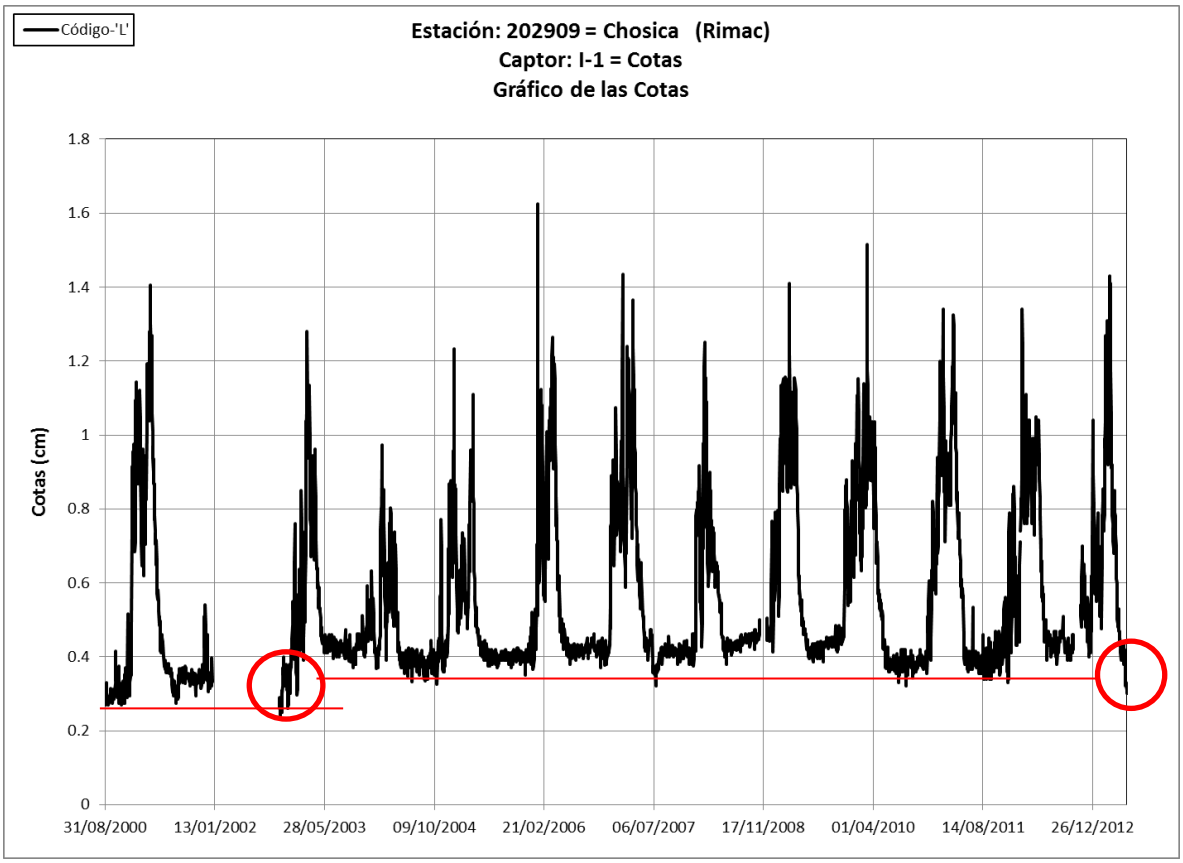
1- Evaluar la posibilidad de aforar el río con un ADCP Q-liner
2- Tomar primeras muestras de sedimentos
3- Definir un protocolo para muestrear sedimentos

Este documento presenta los resultados de la comisión con algunas observaciones y recomendaciones para realizar un monitoreo de sedimentos en la cuenca del Rímac.

DESARROLLO Y OBSERVACIONES

Se visitó la estación hidrométrica de Chosica. Constatamos que la estación se ubica un tramo con fuerte pendiente. La sección de aforo presenta entonces un riego fuerte de descalibración de la relación nivel-caudal que se debe confirmar o invalidar con campañas frecuentes de aforo en aguas altas y bajas.

Crónica de niveles de la estación de Chosica (datos SENAMHI):

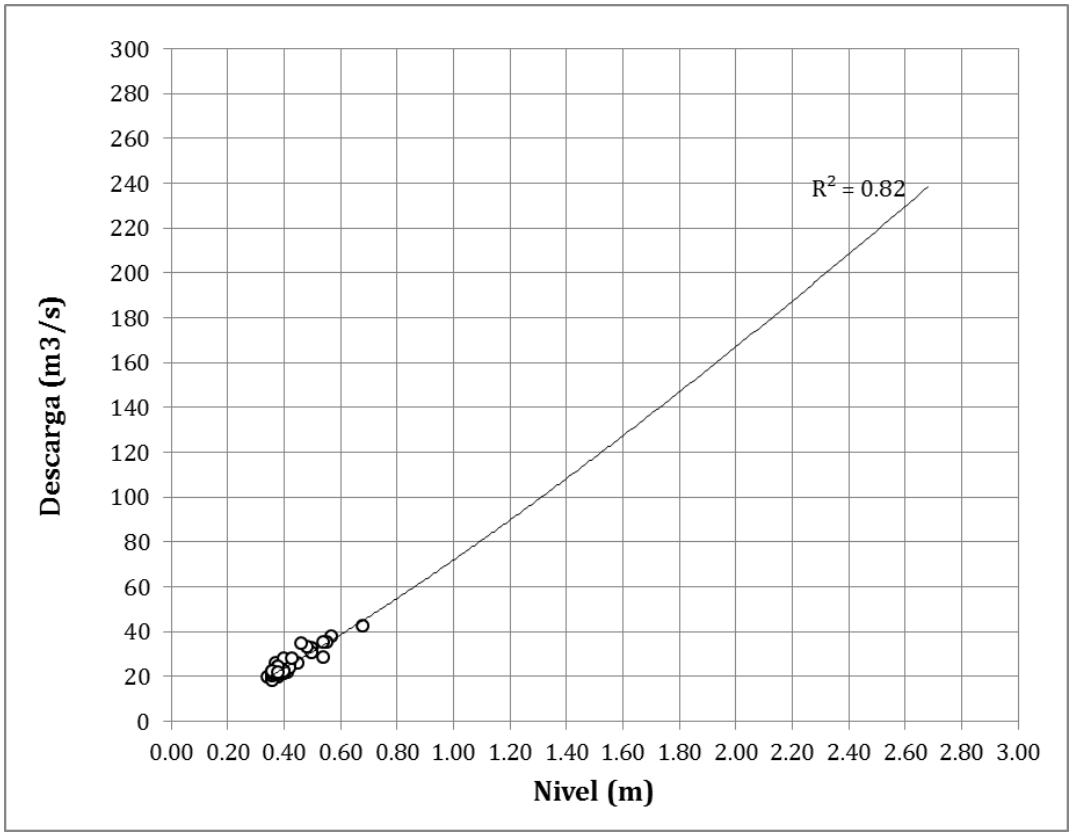


Un primer análisis de los datos de niveles de la estación de Chosica muestra una variación de los niveles de estiaje, con saltos de ~15cm (10% de la amplitud máxima) en 2002 y en 2013. Para confirmar que esos altos corresponden a descalibraciones, se tendrá que revisar los datos de aforos, de perfiles, los informes de visita de la estación y los datos de precipitación (sequías severas).

Además, la fuerte corriente en crecida impide todo aforo y la curva de calibración establecida por el SENAMHI se limita a niveles de estiaje (H <0.8 m). Tal situación es preocupante: el río Rímac alimenta la ciudad de Lima y su caudal en Chosica no es determinado con precisión.

Curva de gastos del río Rímac en Chosica:

Considerando el área de la cuenca, en caso de evento extremo, los caudales podrían fácilmente sobrepasar los 300 m^3/s.



Después de haber tomado varias muestras de sedimentos del río, se buscó otra sección más adecuada para realizar trabajos hidrológicos. Se encontró una mejor pero no ideal sección en la localidad de Huampani, debajo de un puente cual facilitó los trabajos de aforo.

Esta sección se aforó con un Q-Liner, con dificultades y riegos para el aparato en razón del fuerte corriente. Cabe señalar que esos aparatos no fueron diseñados para esos tipos de ríos y que sería un error de invertir en tales materiales para determinar los caudales en la costa Pacífica del Perú.

Recomendamos entonces, en un caso ideal de realizar obras para tener una sección estable, y de instalar sensores ADCP (tipo OTT SLD) o a ultrasonidos para tener una evaluación directa del caudal y evitar los problemas de descalibración. No recomendamos construir un umbral en razón de la fuerte carga de fondo que debe tener el río y que podría llenar la sección rápidamente.
También, se podría utilizar radares para realizar los aforos en aguas altas (SVR de Decatur) (Fulton et Ostrowski, 2008). Pero en este caso, la sección debe ser estable.
Por fin, la solución clásica de un molinete con lastre y sistemas de poleas parece quizás la más económica. Se podría aforar en una estación estable, mas tranquilla como la de Huampani. Este sección tiene la ventaja de tener un puente que se podría acomodar para esas tipas de mediciones (ver fotos en anexos).

Resultados de la toma de muestras en Chosica:

No_Vertical	No_Punto	Codigo	nductividad_La	pH	Volumen (mL)	CMES (mg/L)	Comentario
1	1	V1 (Sup)	405	7.81	550.5	99.7	A 1/4 del ancho desde la orilla izquierda
2	1	V2-1 (Sup)	401	7.98	610.3	87.8	Cauce central Repetición 1
2	2	V2-2 (Sup)	404	7.77	603.9	68.2	Cauce central Repetición 2
2	3	V2-3 (Sup)	408	7.58	608.5	67.2	Cauce central Repetición 3
2	4	V2-4 (Sup)	406	7.73	658.8	72.3	Cauce central Repetición 4
2	5	V2-5 (Sup)	388	7.81	600.8	60.1	Cauce central Repetición 5
3	1	V3 (Sup)	424	7.56	588.8	91.7	A 3/4 del ancho desde la orilla izquierda

Concentración Promedia (mg/L)	σ	CV (%)	Cota (cm)	Q (m3/s)	Qs (t/d)
71.12	10	14%		100	614

(! Caudal estimado, no comunicado por el SENAMHI)

La sección de Chosica, muy accidentada, tiene las características de un escurrimiento supercrítico con régimen torrencial, por lo menos en avenida. Se puede así hacer la hipótesis de una buena homogeneidad de la concentración en sedimentos suspendidos. Una muestra de superficie debería representar significadamente la concentración de la sección.
Los resultados de filtración de muestras muestran una carga débil en sedimentos, cual corresponde a una bajada de nivel del río. Probablemente, en las horas precedentes al aforo, la carga sedimentaría fue mayor.

Las concentraciones tienen una buena repitibilidad a lo largo del ancho del río, con un coeficiente de variación de 14% y una desviación estándar de 10 mg/L. Las valores más fuertes en las orillas parecen mostrar un efecto de orilla, que habría que confirmar con otros muestreos para determinar el lugar de muestro.

RECOMENDACIONES PARA ESTABLECER UN PROTOCOLO DE MUESTRO DE SEDIMENTOS EN EL RÍMAC:

Las recomendaciones para empezar un monitoreo de sedimentos en la cuenca del Rímac son las siguientes:

Calidad de los datos Hidrométricos
En primer lugar, se tiene que tener una buena calidad de datos hidrométricos, sin cuales la medición de sedimentos no tendría sentido:

1- Analizar los niveles y aforos del río Rímac en Chosica y evaluar con el software HYDRACESS si se tiene descalibración de la sección
2- Georeferenciar la estación para transformar los niveles en escalas absolutas (utilizando el DGPS)
3- Mejorar las curvas nivel-caudal utilizando técnicas y tecnologías adecuadas (Radar, SLD, molinetes con lastres, ultrasonidos…) e intensificar las campañas de aforo, no solo en avenida pero también después de cada crecida para identificar las descalibraciones y poder realizar correcciones.

Frecuencia de muestreo adecuada

Las numerosas pequeñas cuencas montañosas (< 10 000 Km2) que vierten en los océanos, tal las de la vertiente Pacifica del Perú, drenan 20% de los continentes (Milliman et Syvitski, 1992). Sus aportes sedimentarios a los océanos son ampliamente subestimados. En efecto, eventos episódicos pueden llevar en algunas horas una grande cuantidad de sedimentos (sismos, deslizamientos, flash-flood). Esos tipos de eventos sedimentarios de manera general no son documentados por razones obvias (excepto por métodos indirectos). Además, el acción

del ser humano desde miles de años ha profundamente alterado la dinámica sedimentaría de esas cuencas (represas, agricultura, deforestación…).
Definir un protocolo de monitoreo adecuado no es así una cosa simple, y se tiene primero que establecer cuál es el objetivo: estimar los aportes a los océanos, dimensionar una obra hidráulica, captar agua para tratamiento…
De manera general, para este tamaño de cuenca, se establece una relación de forma potencial (predilección de los hidrólogos) entre caudal y concentración (o directamente entre caudal sólido y caudal):

$$C = a.Q^b$$

Con:

C: Concentración en sedimentos
Q: caudal
A y b coeficientes por ajustar

Para los caudales de estiaje, la relación es generalmente buena. Además, las concentraciones son débiles, y los caudales solidos (carga sólida en suspensión) de este periodo no pesan en el balance anual. Así, una vez establecida la relación, muestrear el río en este época no es necesario, sino de vez en cuando para controlar si la relación no desvío.

Esta relación queda sin mucho ruido hasta un cierto valor de caudal. Después, eventos estocásticos como deslizamientos (correspondiendo a umbrales de acumulación de humidad de los vertientes) vienen perturbar la relación (Montgomery et Brandon, 2002). A partir de este punto, es teóricamente necesario tomar muestras de la manera la más frecuente posible.

Varios investigadores intentaron definir una frecuencia de muestreo adecuada según el área de la cuenca (ver Morera et al., 2013), basándose en un muestro de alta frecuencia (diario o infra-diario) luego degradado para evaluar el impacto de la frecuencia sobre la determinación de los flujos sólidos. A nivel anual, los flujos calculados desvían rápidamente. Al nivel interanual, sobre periodos largos (>10 años), la determinación del flujo solido es más robusta a la frecuencia escogida, sin eventos sedimentarios extremos.

Además de este problema, los ríos alternan fases de incisión, deposición, resuspension. De maneja general, por un mismo caudal, las concentraciones pueden variar considerablemente en función del stock de sedimentos disponible y/o de los deslizamientos. Así, es común de observar concentraciones más altas al principio de una crecida que al fin para un mismo caudal. Algunos autores han intentado modelar esos comportamientos estableciendo una función stock (Delmas et al., 2012) pero en cuencas más grandes y con menos pendiente.

Las sondas de turbiedad (tipo OTT MS5) permiten de tener un muestreo de alta frecuencia. Dos problemas limitan su utilización: primero la seguridad de aparato instalado del equipo. Segundo, la relación entre turbiedad y MES evoluciona con la concentración pero también con la granulometría (Armijos et al., en preparación). Es así necesario calibrar de manera continua esta relación durante la crecida y de realizar análisis de la varianza granulométrica.

Existen también muestreadores automáticos de sedimentos, que toman muestra cuando detectan una variación de nivel, con umbrales programables. Acoplados con sensores de turbiedad, esos muestreadores se revelan de gran interés. Lo ideal sería poder tomar muestra cuando se detecta un salto relevante de turbiedad.

La hora del muestro puede introducir un biais: en las pequeñas cuencas, las horas de mayor precipitación en cabecera de cuenca pueden ocurrir por ejemplo en fin de tarde como en el caso del Rímac. Considerando el tiempo de propagación, la onda podría llegar en la noche o en la mañana en Chosica, según la cabecera de cuenca impactada. Muestrear siempre a horas fijas podría inducir una sur-estimación/sub-estimación de los flujos.

Considerando esos puntos, proponemos los protocolos siguientes para la estación de Chosica (rio Rímac)

1) Protocolo ideal

- Mover la estación de Chosica a Huampani.
- Realizar obras en el cauce para establecer una sección estable
- Instalar un sensor ADCP fijo OTT SLD para medición de caudal directa
- Instalar una sonda de turbiedad (OTT MS5), con sensores de conductividad, PH, temperatura, nivel.
- Instalar un muestrador automático función de la variación de nivel y de turbiedad
- Tomar 3 muestras al día (500 mL) en época de lluvias y una muestra cada 5 días en estiaje
- Monitorear sobre un largo plazo (>10 años)

2) Protocolo degradado I

- Mover la estación de Chosica a Huampani
- Aforar con molinete y/o radar en crecida
- Intensificar las campañas de aforo
- Instalar una sonda de turbiedad (OTT MS5), con sensores de conductividad, PH, temperatura, nivel.
- Instalar un muestrador automático
- Tomar 2 muestras al día (Averiguar si existe un biais con las horas de muestreo) en época de lluvias y una muestra cada 5 días en estiaje
- Monitorear sobre un largo plazo (>10 años)

2) Protocolo degradado II

- Mover la estación de Chosica a Huampani
- Aforar con molinete y/o radar en crecida
- Intensificar las campañas de aforo
- Instalar una sonda de turbiedad (OTT MS5), con sensores de conductividad, PH, temperatura, nivel.
- Tomar 1 muestra al día a hora aleatoria para evitar los biais en época de lluvias y una muestra cada 5 días en estiaje
- Monitorear sobre un largo plazo (>10 años)

2) Protocolo degradado III

- Guardar la estación de Chosica pero aforar en crecida a Huampani
- Aforar con molinete y/o radar en crecida
- Intensificar las campañas de aforo
- Instalar una sonda de turbiedad (OTT MS5), con sensores de conductividad, PH, temperatura, nivel.
- Tomar 1 muestra diaria a hora aleatoria en época de lluvias y una muestra cada 5 días en estiaje
- Monitorear sobre un largo plazo (>10 años)

Cual sea el protocolo escogido, la adquisición de datos permitirá de hacerlo evolucionar para mejorar la precisión y tomar en cuenta los imperativos económicos. Se recomienda entonces de hacer un esfuerzo los primeros años y degradar/adaptar luego el protocolo en función de los resultados.

Los datos diarios de niveles de Chosica no parecen mostrar variaciones rápidas, como lo atestan un simple análisis de los datos de desnivel inter-diarios (Dn) sobre el periodo de observación 2000 -2013:

Max Dn (cm)	N valor	N valor > +-30 cm	N valor > +-10 cm	N valor > +-5 cm
111	4293	18	261	814
		0.4%	6.1%	19.0%

Los protocolos degradados II y III podrían así convenir para la estación de Chosica/Huampani.

Carga de fondo

Los protocolos precedentes son diseñados para la carga en suspensión. Si una grande parte de la carga de fondo es probablemente atrampada al favor de la ruptura de pendiente antes que el río llegue al océano, su estimación queda una tarea delicada indispensable según la aplicación buscada al monitoreo del flujo sólido.

Si es necesario estimar la carga de fondo, se puede utilizar trampas de sedimentos de fondo, muestreadores de fondo o técnicas acústica (ruido sísmico) (Burtin, 2009).

CONCLUSIONES

Monitorear los ríos de la vertiente Pacifica del Perú es una tarea que necesitará inversiones económicas y disponibilidades de personal calificado. Pero, el aporte a las preguntas científicas sobre las tasas de denudación de esta vertiente es de un gran interés al nivel mundial, las aplicaciones para la sociedad civil obvias y la necesidad para la economía del país indiscutible.

Referencias:

Fulton, J. & Ostrowski, J. Measuring real-time streamflow using emerging technologies: Radar, hydroacoustics, and the probability concept. *J. Hydrol.* **357,** 1–10 (2008).

Milliman, J. D. & Syvitski, J. P. M. Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers1. **100,** (1992).

Montgomery, D. R. & Brandon, M. T. Topographic controls on erosion rates in tectonically active mountain ranges. *Earth Planet. Sci. Lett.* **201,** 481–489 (2002).

Delmas, M., Cerdan, O., Cheviron, B. & Mouchel, J. M. River basin sediment flux assessments. *Hydrol. Process.* **25,** 1587–1596 (2011).

Burtin, A., Analyse du bruit sismique des rivières pour l'estimation de la charge de fond, *Thèse de doctorat de l'Université Paris XI* (2010).

Morera, S. B. (2014). Magnitud, frecuencia y factores que controlan los flujos sedimentarios desde los Andes centrales occidentales hacia el Océano Pacífico peruano. *Tesis de Doctoris Philosophiae en Recursos Hídricos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú*.

Morera, S. B.; Condom, T.; Vauchel, P.; Guyot, J.-L.; Galvez, C., & Crave, A. (2013). Pertinent spatio-temporal scale of observation to understand suspended sediment yield control factors in the Andean region: the case of the Santa River (Peru). *Hydrol. Earth Syst. Sci* , **17**, 4641-4657 (2013).

FOTOGRAFIAS DE LA CAMPAÑA

El río Rímac en Puente Ñaña, aguas abajo de Huampani. El cauce se extiende y cambia de rectilíneo a treses

El río Rímac en la estación SENAMHI de Chosica. Se puede la fuerza de corriente y la dificultad para aforar la sección.

Estación de Chosica, toma de muestras de sedimentos

El observador de la estación de Chosica

Aforo de la sección de Huampani con ADCP Q-Liner. Se observa que lasección es más favorable que la de Chosica.

El río Rímac, aguas debajo de Huampani con forma en tresses