

El impacto del cambio climático en la capacidad a largo plazo de los embalses hidroeléctricos en las regiones andinas.

Caso de estudio: Río Cañete, Perú.

Eje Temático: Erosión en Canales y Cursos de Agua.

Miluska A. Rosas¹, Veerle Vanacker² and Christian Huggel³

(1) Earth and Life Institute, Georges Lemaître Centre for Earth and Climate Research, Université Catholique de Louvain, Bélgica (miluska.rosas@uclouvain.be)

Movil: +32 499385500 / +51 967210976

DNI: 45420446

(2) Earth and Life Institute, Georges Lemaître Centre for Earth and Climate Research, Université Catholique de Louvain, Bélgica (veerle.vanacker@uclouvain.be),

(3) Department of Geography, University of Zurich, Suiza (christian.huggel@geo.uzh.ch)

El impacto del cambio climático en la capacidad a largo plazo de los embalses hidroeléctricos en las regiones andinas. Caso de estudio: Río Cañete, Perú.

Miluska A. Rosas¹, Veerle Vanacker² and Christian Huggel³

Abstract

La capacidad hidroeléctrica en América del Sur ha aumentado en gran medida en la última década. En Perú, la energía hidroeléctrica representó aproximadamente el 50% de la producción total de energía en 2016. Las plantas hidroeléctricas en Perú comúnmente cuentan con un reservorio para regular el flujo en la temporada seca. Las altas tasas de erosión y transferencia de sedimentos en los Andes conducen a una acumulación rápida de sedimentos en los reservorios y a una disminución severa del almacenamiento. Sin embargo, hasta ahora se sabe poco sobre las evaluaciones cuantificadas de erosión y deposición y cómo los cambios climáticos influyen en estos procesos. Se estudia la cuenca del río Cañete, ya que juega un papel importante en el desarrollo social y económico de la región debido a su suministro de agua y energía a las zonas rurales y urbanas. La planta hidroeléctrica El Platanal, cuenta con el embalse Capillucas, ubicado en la cuenca media. En este trabajo, utilizamos un modelo hidrológico acoplado a un modelo de transporte de sedimentos para simular los cambios futuros en la descarga y la carga de sedimentos en el río. Cuatro escenarios fueron desarrollados y evaluados. Dos de ellos muestran un aumento de 8% y 15% respectivamente, de la tasa de precipitación anual, distribuida en la temporada de lluvias. Mientras que los otros evalúan el impacto de estos incrementos solo en los eventos extremos o picos.

Este documento se centra en el impacto potencial del cambio climático en la dinámica de los sedimentos en los Andes peruanos, y evalúa los posibles cambios en la transferencia y movilización de sedimentos. Así mismo, presenta nuevos datos sobre la sensibilidad de la infraestructura del agua y las instalaciones de energía hidroeléctrica a los cambios inducidos por el clima en la movilización de sedimentos en la red fluvial.

1. Introducción

En América Latina, la industria hidroeléctrica se ha expandido por todo el continente en la última década. El informe publicado por la ONU (UN, 2015), en el año 2014 Argentina, Brasil, Chile, Uruguay, Venezuela y también México tenían un consumo per cápita de electricidad de alrededor de 3000 MW, alcanzando o en algunos casos excediendo, el consumo promedio mundial. Las estadísticas también observaron para el año 2015 que el 60% de la generación eléctrica total fue producida por la industria hidroeléctrica contra la industria de combustibles fósiles con un 37%. Se observó un escenario similar en el contexto peruano (Tamayo et al., 2016), para el año 2015 casi el 50% de la generación eléctrica interconectada ha sido generada por centrales hidroeléctricas. Asimismo, el último informe nacional preestableció los actuales 20 nuevos proyectos hidroeléctricos en todo el país.

Las plantas hidroeléctricas en Perú comúnmente cuentan con un reservorio de almacenamiento, para suplir la falta de agua en el periodo de lluvias. Las tasas de erosión de las cuencas de la Cordillera Andina, donde se ubican las plantas hidroeléctricas, oscilan entre 0,1 y 1,0 mm/año, o aproximadamente 770 a 2200 Ton/km²/año (Latrubesse y Restrepo, 2014; Morera et al., 2016; Naipal et al., 2015). Las altas tasas de erosión y transferencia de sedimentos en los Andes provocan una rápida acumulación de sedimentos en los reservorios hidroeléctricos y potencialmente afectan la eficiencia de estos. Sin embargo, hasta ahora se sabe poco acerca de las evaluaciones cuantitativas de la erosión y la deposición y cómo la variabilidad climática influye en estos procesos. El patrón de precipitación en los Andes occidentales presenta una alta variabilidad. En el último evento de El Niño (diciembre a marzo 2017), las altas tasas de precipitación desencadenaron el colapso de la infraestructura básica y un impacto negativo en la economía nacional. Las estaciones meteorológicas registraron tasas de lluvia 10 veces más altas de lo normal como se observó en las imágenes satelitales de la NASA Worldview.

2. Caso de estudio: Cañete

El río Cañete está ubicado en el área sur de la región de Lima en Perú. La cuenca tiene una extensión de casi 6 000 km², y conecta las montañas de los Andes Centrales con el Océano Pacífico (ver Fig.1). La cuenca del río Cañete juega un papel importante en el

desarrollo social y económico de la región, debido a la provisión de agua a las áreas rurales y urbanas. Además, actividades económicas importantes, como la producción de energía hidroeléctrica, agricultura y ganadería, se practican en toda la cuenca.

El embalse de Capillucas está ubicado en el medio de la cuenca (Fig.1), y forma parte de la planta hidroeléctrica El Platanal. La planta comenzó sus actividades en 2010 y tiene una potencia instalada de 220 MW (Cuadrado, 2013). La presa Capillucas tiene un almacenamiento máximo de agua es 1.4 MMC y 0,8 MMC de volumen útil.

La región exhibe una gran variedad de condiciones climáticas, topográficas y de cobertura vegetal. La parte inferior de la cuenca es un desierto árido, la parte subhúmeda media sostiene la agricultura de subsistencia, y la parte superior de la cuenca es un paisaje de puna sin vegetación. La capa de nieve y los glaciares están presentes en las elevaciones más altas (5000 m). Sin embargo, se espera que el retroceso de los glaciares debido al cambio climático tenga un impacto en la disponibilidad de agua en las áreas a elevaciones más bajas (Baraer et al., 2012; Drenkhan et al., 2015). La tasa de lluvia en la cuenca tiene una fuerte correlación con la altitud, que van desde 20 mm/año en la parte inferior hasta alrededor de 1000 mm/año en las elevaciones más altas. Asimismo, se observa un gradiente vegetativo a través del canal principal del río.

La cuenca es propensa a procesos erosivos severos por derrumbes, deslizamientos y huaicos, principalmente en la parte media de la cuenca. Además, la cantidad de sedimentos suspendidos en el río principal aumenta en el periodo de lluvias. Sin embargo, la erosión y la transferencia de sedimentos relacionadas con el cambio climático y la variabilidad en la cuenca Cañete aún no han sido evaluadas. Algunos esfuerzos locales para estimar una tendencia a la lluvia en los últimos 40 años, muestran tendencias negativas y positivas en los datos registrados y también una alta variabilidad estacional, es decir no cuenta con un patrón definido (Fluixá Sanmartín y García Hernández, 2018).

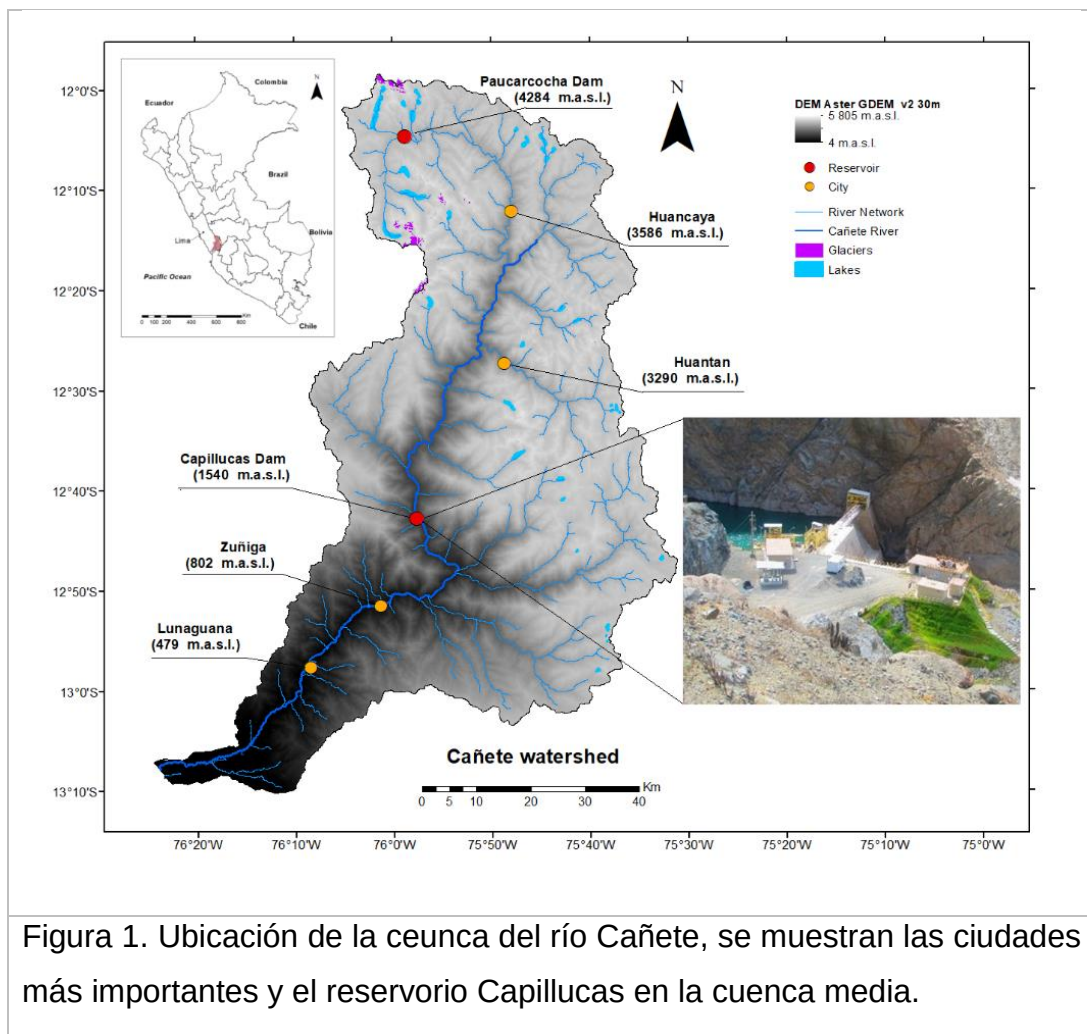


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Cañete, se muestran las ciudades más importantes y el reservorio Capillucas en la cuenca media.

3. Data y metodología

3.1 Línea Base

Se contruirán dos modelos: uno hidrológico y otro de transporte de sedimentos. En relación al modelo hidrológico, se recolectó datos de precipitación (11 estaciones) y temperatura (7 estaciones) en la cuenca (ver Tabla N°1). Además se cuenta con mediciones de caudal en 13 puntos de aforo para la calibración del mismo. La plataforma HEC-HSM (Feldman, 2000) fue la herramienta para la construcción del modelo, la cuenca fue dividida en 25 sub-cuencas de acuerdo a la altitud y la distribución espacial de precipitación fue desarrollada mediante la ecuación modificada de distancias inversas (IDW) que incorpora el efecto de la elevación.

Tabla N°1. Data de ingreso para el modelo hidrológico (HM) y el modelo de transporte de sedimentos (STM)				
Data	Fuente	Periodo	Resolución temporal	Propósito
Precipitación y temperatura	Ambiand	2010 - 2015	Diaria	HM input
Medición de caudal	Ambiand	2014 - 2015	Diaria	HM calibración
Muestras de sedimentos suspendidos	Celepsa	1998 - 2001	Diaria (periodo de lluvias)	STM input
Muestras de sedimentos suspendidos		2018	Diaria (periodo de lluvias)	STM calibración

Respecto al modelo de sedimentos, la data de entrada incluye: (1) la geometría del caudal principal, (2) la distribución granulométrica basada en un análisis digital (Detert, 2012) de fotos de alta resolución (3) una curva de caudal versus caudal sólido (Q vs Q_s) y, (4) los resultados del modelo hidrológico. Las herramientas del HEC-RAS (Brunner, 2016) construyeron el modelo en base a las ecuaciones de Ackers and White para la función de transporte, Thomas – Exner 5 como método de clasificación de partículas y para la estimación de la velocidad de sedimentación se consideró la ecuación de Rubey.

Ambos modelos, el hidrológico y el de transporte de sedimentos incluyen el reservorio de Capillucas en la cuenca media.

3.2 Escenarios proyectados

Son 4 los escenarios a ser analizados, estos contemplan un incremento en la tasa de precipitación para el periodo de lluvias (Diciembre – Febrero) de 8% y 15%, basado en estudios previos (Fluixá Sanmartín y García Hernández, 2018) de tendencias de precipitación en la zona en relación a cambio climático. La Tabla N°2 presenta una descripción de estos.

Tabla N°2. Descripción de los escenarios propuestos		
Escenario	Incremento	Descripción
S1	+ 8%	Incremento distribuido en todo el periodo de lluvias
S1-P	+ 8%	Incremento distribuido solo en los picos
S2	+ 15%	Incremento distribuido en todo el periodo de lluvias
S2-P	+ 15%	Incremento distribuido solo en los picos

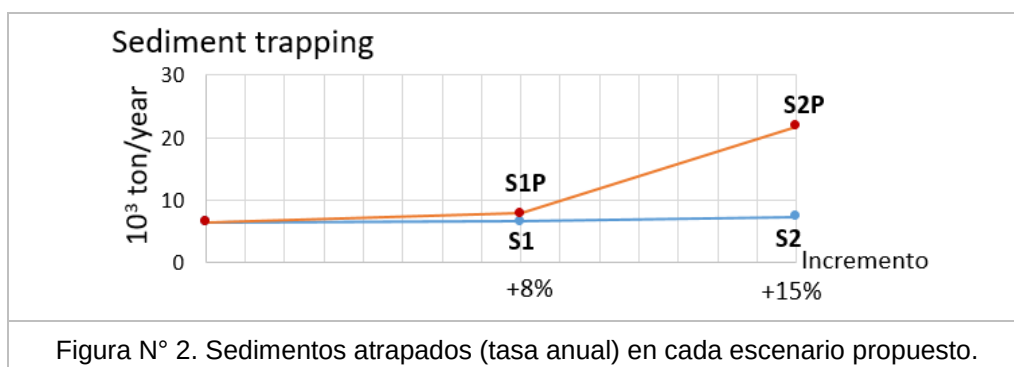
Así, se estimará la cantidad de sedimentos anuales atrapados en el reservorio Capillucas para cada escenario, y se evaluará el impacto del incremento y variabilidad de la precipitación.

4. Resultados y discusión

Se construyeron los modelos previstos, la tabla N°3 muestra los resultados de la calibración de estos en los diferentes puntos de control de caudal y muestreo de sedimentos. Los factores que evaluaron el desempeño de ambos modelos son: Nash-Sutcliffe efficiency **E**, Coefficient of determination **r²**, Index of agreement **d**, Relative volume bias **RBV** y Kling-Gupta Efficiency **KGE** (Krause, 2018).

Tabla N°3. Índices de calibración para el modelo hidrológico y de transporte de sedimentos					
Modelo hidrológico					
Punto de control	E	r ²	d	RVB	KGE
Tanta	0.590	0.692	0.861	-0.319	0.632
Azucha	0.651	0.670	0.897	-0.059	0.819
Huantan	0.674	0.678	0.896	0.045	0.734
Cacuciri	0.787	0.754	0.940	0.071	0.663
Putinza	0.792	0.794	0.938	0.040	0.807
Chavin	0.960	0.982	0.991	0.100	0.897
Modelo de transporte de sedimentos					
Azucha	0.601	0.716	0.822	0.407	
Huantan	0.448	0.511	0.704	0.338	
Putinza	0.792	0.679	0.927	0.081	
Valor óptimo	> 0.5	1	1	0	1

Se calculó la cantidad anual de sedimentos atrapados en la presa para cada escenario. Como se observa en la Figura N°2, los escenarios S1-P y S2-P presentan tasas mas altas que los escenarios S1 y S2 para un mismo porcentaje de incremento.



5. Discusión y conclusiones

Los primeros resultados luego de evaluar los 4 escenarios propuestos, nos muestran que la variabilidad de precipitación tiene un papel importante en la cantidad de sedimentos transportados en cuencas andinas. Además un incremento en la precipitación puede afectar directamente la vida útil del reservorio y así mismo la eficiencia de la planta hidroeléctrica como podemos observar en la Figura N°3. El caso más crítico es el escenario S2-P en el cual el tiempo de vida esperado se reduce de 195 a solo 57 años. Basado en este análisis podemos resaltar la importancia del monitoreo de sedimentos en las cuencas Andinas y sobretodo si los eventos extremos pueden impactar el desarrollo industrial y económico de la región.

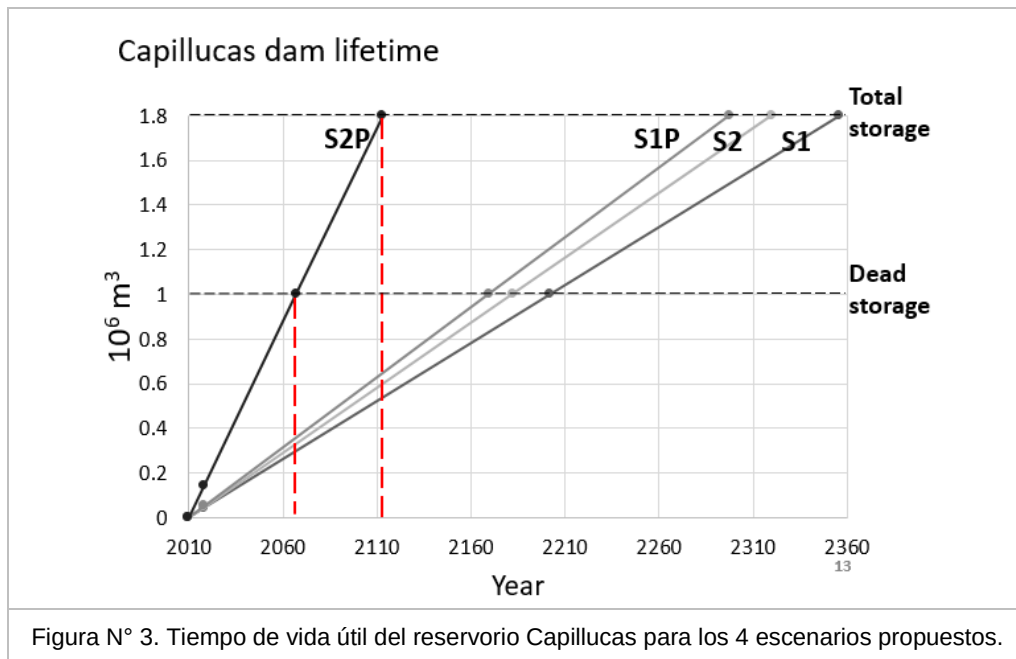


Figura N° 3. Tiempo de vida útil del reservorio Capillucas para los 4 escenarios propuestos.

6. Referencias Bibliográficas

BARAER M., MARK B. G., MCKENZIE J. M., CONDOM T., BURY J., HUH K.-I., PORTOCARRERO C., GOMEZ J., RATHAY S. "Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca", *Journal of Glaciology*, N° 207, vol. 58. Cambridge University Press (2012), pág. 134 - 150.

BRUNNER G., *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual*, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, California US (2016).

CUADRADO J. C., Central Hidroeléctrica El Platanal (2013).

DETERT M. y WEITBRECHT V. "Automatic object detection to analyze the geometry of gravel grains - a freestand-alone tool", *River Flow 2012 - Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics*, vol.1 (2012), pag. 595–600.

DRENKHAN F., CAREY M., HUGGEL C., SEIDEL J. Y ORÉ M.T. "The changing water cycle: climatic and socioeconomic drivers of water-related changes in the Andes of Peru", *Wiley Interdisciplinary Reviews:Water*, N°6, vol. 2. (2015), pág. 715 – 733.

FELDMAN A., *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, California US (2000).

FLUIXÁ SANMARTÍN J. Y GARCÍA HERNÁNDEZ J. Modelización hidrológica de la cuenca del Cañete y evaluación del impacto del cambio climático, Report 1. Proyecto Glaciares+, Lima (2018).

KRAUSE P., BOYLE D. P., BÄSE F. "Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment", *Advances in Geosciences*, vol. 5 (2005), pág. 89–97.

LATRUBESSE E. M. y RESTREPO J. D. "Sediment yield along the Andes: continental budget, regional variations, and comparisons with other basins from orogenic mountain belts", *Geomorphology*, vol. 216 (2014), pág. 225 – 233.

MORERA S., CONDOM T., VAUCHEL P., GUYOT J.-L., GALVEZ C. y CRAVE A., "Pertinent spatio-temporal scale of observation to understand sediment yield control factors in the andean region: the case of the Santa river, Peru", *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 17 (2013), pág. 4641-4657.

NAIPAL V., REICK C., PONGRATZ J. y OOST K., "Improving the global applicability of the rusle model adjustment of the topographical and rainfall erosivity factors", *Geoscientific Model Development Discussions*, vol. 8 (2015), pág. 2991–3035.

TAMAYO J., SALVADOR J., VASQUEZ A. y VILCHES C. La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. Report 1, Osinergmin, Lima (2016).

UNITED NATIONS ORGANIZATION. *Energy statistics Yearbook, Report 59*, New York (2015).