AguaFuturo

Modelamiento integrado de los recursos hídricos: Riesgos futuros y Estrategias de adaptación en los Andes del Perú

Balance hídrico integrado actual y futuro en la cuenca del río Santa

El presente resumen ejecutivo ha sido desarrollado en base al artículo científico *Current and Future Water Balance in a Peruvian Water Catchment – The Influence of Socio-economic Drivers*, enviado a la revista científica Journal of Hydrology: Regional Studies en julio del 2021.

E Clim | University of Zurich[UZH]

Universität Stuttgart
Institute for Modelling Hydraulic and Environmental Systems

zirius

En los Andes del Perú, el cambio climático y los factores socioeconómicos pueden poner en peligro la disponibilidad de agua en el futuro. Sin embargo, se conoce poco sobre los procesos combinados e interacción entre los factores climáticos y no climáticos. En este marco se ha desarrollado el presente estudio que integra variables hidroclimáticas (oferta de agua) y socioeconómicas (demanda de agua) en combinación con escenarios futuros hasta el 2050, con el objetivo de analizar la variabilidad de los recursos hídricos y la disponibilidad de agua. El estudio abarca toda la cuenca alta y media del río Santa hasta el punto de aforo denominado Condorcerro.

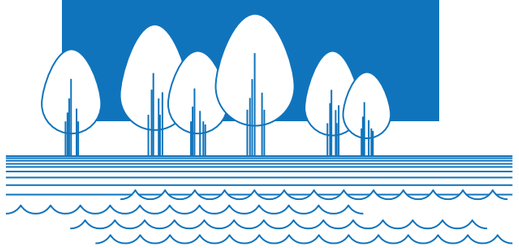
Los resultados sugieren que para el 2050, la disponibilidad media de agua en el río Santa incrementará en 10% (± 12%) debido al incremento de la precipitación anual de alrededor del 14% (RCP2.6) u 18% (RCP8.5). En contraste, la disponibilidad de agua en el río Santa durante la época de estiaje (temporada sin lluvias) e reducirá en 33 y 36% (± 24%) en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5 respectivamente, tal reducción se debería principalmente al descenso de la contribución glaciar. Por lo tanto, los resultados sugieren que los cambios provocados por los factores socioeconómicos son menos importantes que aquellos provocados por los factores climáticos.Ello se relaciona principalmente a las incertidumbres provenientes de los modelos climáticos globales. A pesar de ello, los factores socioeconómicos tienen un efecto predominante en la disponibilidad de agua durante el periodo sin lluvias

Los resultados abogan por una mejora en la gestión del recurso hídrico en la cuenca, la infraestructura y capacidad de almacenamiento. Además, el estudio resalta la importancia de fortalecer los esfuerzos de investigación para analizar todas las variables que influyen en la gestión del agua como fundamento para reducir el riesgo de escases hídrica.

1 BALANCE HIDROLÓGICO ACTUAL

Conocer cómo serán las condiciones hidrológicas futuras requiere estar al tanto primero de cómo han sido las condiciones hidrológicas en el pasado y en el presente. Por ese motivo la primera tarea de investigación fue realizar el balance hídrico entre 1981 y 2015. Dicho periodo se estableció a partir de la disponibilidad de datos tal como precipitación y temperatura, obtenidos de la base de datos PISCO de SENAMHI (Aybar et al., 2020) y datos de caudales obtenidos de la central hidroeléctrica del Cañón del Pato. El siguiente paso fue realizar un análisis detallado de la calidad y a la vez completar las series de datos cuando era necesario. Tales datos permiten estimar la oferta de agua.

La simulación hidrológica en la estación Condorcerro reporta los meses de mayor caudal entre enero y marzo con un caudal promedio de 233 m³/s, el periodo con menor caudal ocurre entre julio y setiembre con un caudal promedio de 42 m³/s, mientras que el caudal promedio anual es de 138 m³/s.



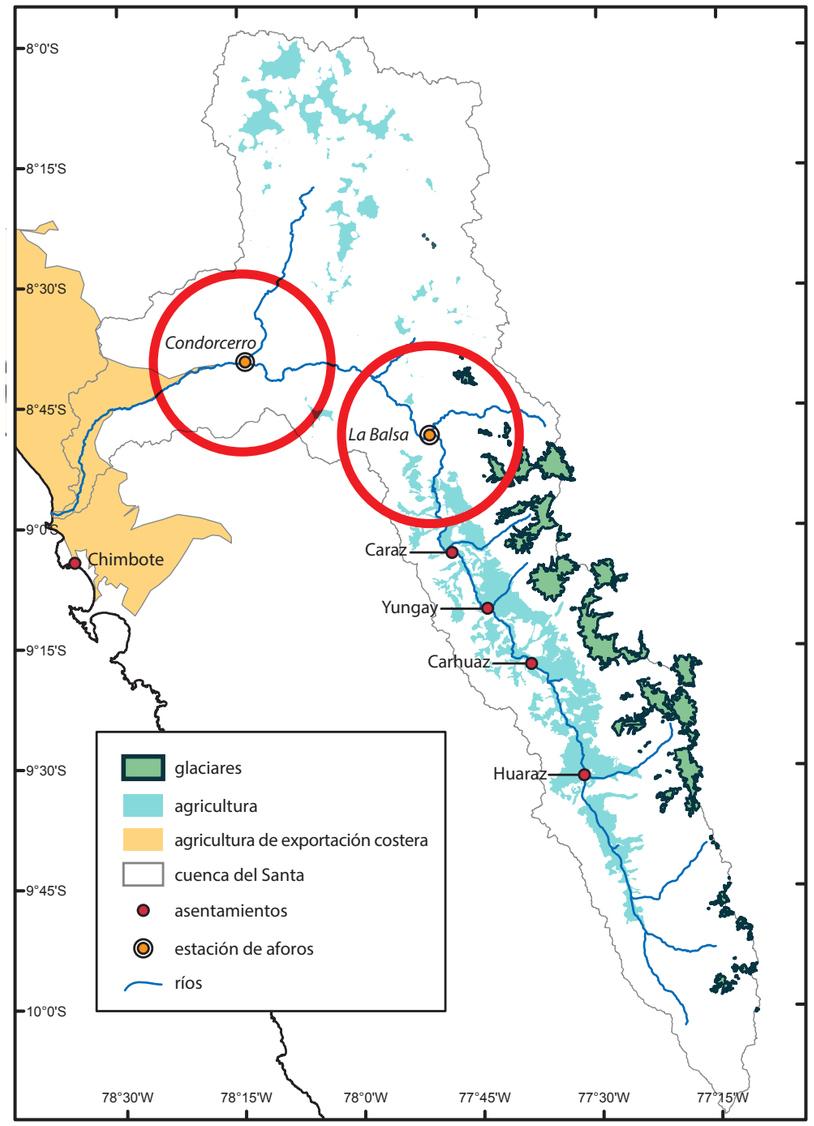


Figura 1: Mapa de la cuenca del río Santa. El análisis de la disponibilidad actual y futura se hizo en la estación La Balsa (de influencia glaciar), y en la estación Condorcerro (sin influencia glaciar).

Para estimar la demanda de agua se accedieron a diversas fuentes de información sobre uso del agua principalmente de los sectores agrícola y doméstico de la Autoridad Nacional del Agua, censos poblacionales y agrícolas disponibles, así como de estudios existentes (por ejemplo Drenkhan et al., 2015).

Los datos de oferta y demanda de agua fueron incorporados al modelo hidrológico denominado HBV (Bergström, 1992) ampliamente usado a nivel mundial. El modelo simula el ciclo hidrológico e incluye las pérdidas de agua por la eficiencia de riego y la distribución de sistemas domésticos. La contribución de los glaciares fue simulada con el modelo GSM (García Hernández et al., 2016) que utiliza el área glaciar (obtenida de imágenes satelitales en diferentes años) y las variaciones de precipitación y temperatura entre la temporada de lluvias y sin lluvias. Como resultado, se simularon los caudales del río Santa en dos puntos: la estación La Balsa que recoge las aguas con gran influencia glaciar y la estación Condorcerro que recoge las aguas de la zona norte de la cuenca sin influencia glaciar (Figura 1).

2 ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y SOCIOECONÓMICOS FUTUROS

En el presente estudio se han desarrollado por primera vez una combinación de escenarios climáticos y socioeconómicos futuros. Tradicionalmente, los estudios hidrológicos futuros se basan en las condiciones climáticas, mientras que condiciones socioeconómicas se analizan de manera superficial.

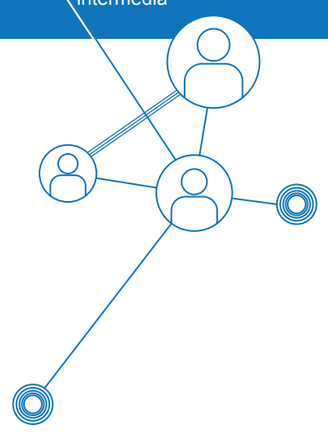
Escenarios climáticos al 2050: predecir el futuro no es posible, pero sí se pueden establecer posibles condiciones futuras. En cambio climático dos escenarios son los más evaluados: el denominado RCP2.6 (que representa el escenario de mínimo calentamiento global), y el escenario RCP8.5 (que representa el máximo calentamiento global). Cada escenario es simulado a través de modelos climáticos. En este estudio se han seleccionado 5 modelos climáticos cuyos datos fueron ajustados a las condiciones locales (denominado corrección del sesgo) entre 2021 y 2050 para precipitación y temperatura.

Los escenarios climáticos en la cuenca del Santa para el 2050 indican un incremento de la temperatura de 2°C y de la precipitación en 14% anual para el escenario de mínimo calentamiento RCP2.6 y a la vez un incremento de 3°C y 18% anual de la precipitación para el escenario de máximo calentamiento RCP8.5.

Los escenarios climáticos en la cuenca del Santa para el 2050 indican un incremento de la temperatura de 2°C y de la precipitación en 14% anual para el escenario de mínimo calentamiento RCP2.6 y a la vez un incremento de 3°C y 18% anual de la precipitación para el escenario de máximo calentamiento RCP8.5.

De los 29 escenarios socioeconómicos originales se seleccionaron cuatro escenarios que representan la mayor variabilidad posible abarcando incrementos y reducciones en la demanda de agua:

- Escenario 12: de baja demanda de agua
- Escenario 28: de alta demanda de agua
- Escenarios 22 y 23: demanda intermedia



Escenarios socioeconómicos: se desarrollaron siguiendo la metodología denominada Cross-Impact Balance Analysis – CIB (cross-impact.org). El primer paso consiste en identificar una lista de variables que describan cómo será el futuro, denominados «descriptores». Para ello se realizaron entrevistas y talleres con autoridades y expertos de la cuenca del Santa[1] en el año2017, quienes identificaron un total 15 descriptores. Posteriormente, para cada descriptor se identificaron dos o tres posibles futuros. Por ejemplo con el descriptor «población urbana» identificamos 3 posibles futuros: 1) migración rural-urbana, 2) inmigración de otras regiones, 3) emigración; al descriptor «agricultura» se identificaron: 1) exportación de gran escala, 2) tradicional de pequeña escala, 3) exportación de pequeña escala; con el descriptor «infraestructura del agua» identificamos: 1) mejora, 2) empeora, 3) no cambia y por último el descriptor «política del agua» podemos identificar: 1) integrado, 2) sectorial; etc. En un siguiente paso cada descriptor y sus posibles futuros fueron combinados para construir 29 escenarios socioeconómicos. Cada escenario fue verificado para evaluar su consistencia y además fue validado en un taller en el 2018 con la participación de las mismas instituciones que identificaron los descriptores (Figura 2).

1 ALA Huaraz, INAIGEM, la Junta Usuarios del Callejón de Huaylas, EPS Chavín, el Parque Nacional Huascarán, las municipalidades de Huaraz e Independencia, la Mancomunidad Waraq. Defensoría del Pueblo, CARE Perú, y el Instituto de Montaña.

Figura 2: Taller de validación de escenarios socioeconómicos con la participación de diversas instituciones en el 2018 en Huaraz.

Para integrar los escenarios socioeconómicos al modelamiento hidrológico futuro, se seleccionaron descriptores que puedan ser traducidos como datos cuantitativos. Por ejemplo, si el futuro del descriptor «población urbana» es emigración, implica una reducción de la demanda doméstica, pero si el futuro es inmigración entonces es un incremento de la demanda doméstica. Tales incrementos o reducciones fueron calculados usando información existente, por ejemplo, para la población urbana se usaron las proyecciones del INEI.

Los resultados en los escenarios socioeconómicos indican que su influencia en la demanda de agua pueden ser las mismas, aunque los descriptores que las desencadenan sean diferentes. Por ejemplo, los escenarios socioeconómicos 8 y 12 tienen descriptores con diferentes futuros, pero su impacto en la demanda de agua es la misma.

3 BALANCE HIDROLÓGICO FUTURO AL 2050

El balance hidrológico futuro fue estimado usando como base el modelamiento hidrológico del periodo actual, al que se le incorporaron los escenarios climáticos y socioeconómicos. Se usó como periodo actual los años entre 2005 y 2015, y como periodo futuro los años entre 2040 y 2050.

Los resultados de la simulación futura indican dos patrones generales: 1) a nivel anual los efectos del clima tienen mayor influencia en la disponibilidad de agua que los efectos socioeconómicos, 2) durante el periodo sin lluvias, los efectos socioeconómicos tienen mayor influencia en la disponibilidad de agua.

Los resultados sugieren que para 2050, la disponibilidad media de agua en el río Santa incrementará en 10% (± 12%) debido al incremento de la precipitación anual. En contraste, la disponibilidad de agua en el río Santa durante la temporada de sin lluvias se reducirá en 33 y 36% (± 24%) en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5 respectivamente principalmente debido a la reducción de la contribución glaciar Figura 3.

En la Figura 3 se observa que a nivel anual bajo cualquier escenario socioeconómico y climático habrá un incremento de los caudales medios: 1) en la columna (caudales anuales en m3/s) de la izquierda los boxplot de color (escenarios) están por encima de los boxplot gris (periodo histórico), 2) en la columna de la derecha (caudales acumulados anuales en km3) las líneas rojas y azules (escenarios) están por encima de las líneas negras (periodo histórico).

Tales incrementos se deben principalmente al incremento de la precipitación durante el periodo de lluvias. Sin embargo, durante el periodo sin lluvias habrá una reducción de la disponibilidad de agua por incremento de la demanda y reducción de la contribución glaciar, que es la principal fuente de agua en dicho periodo.

Estos resultados muestran la oportunidad que tiene la cuenca de almacenar agua durante los periodos de lluvia, pero al mismo tiempo exponen la necesidad de mejorar los sistemas de almacenamiento y la eficiencia del uso del agua.

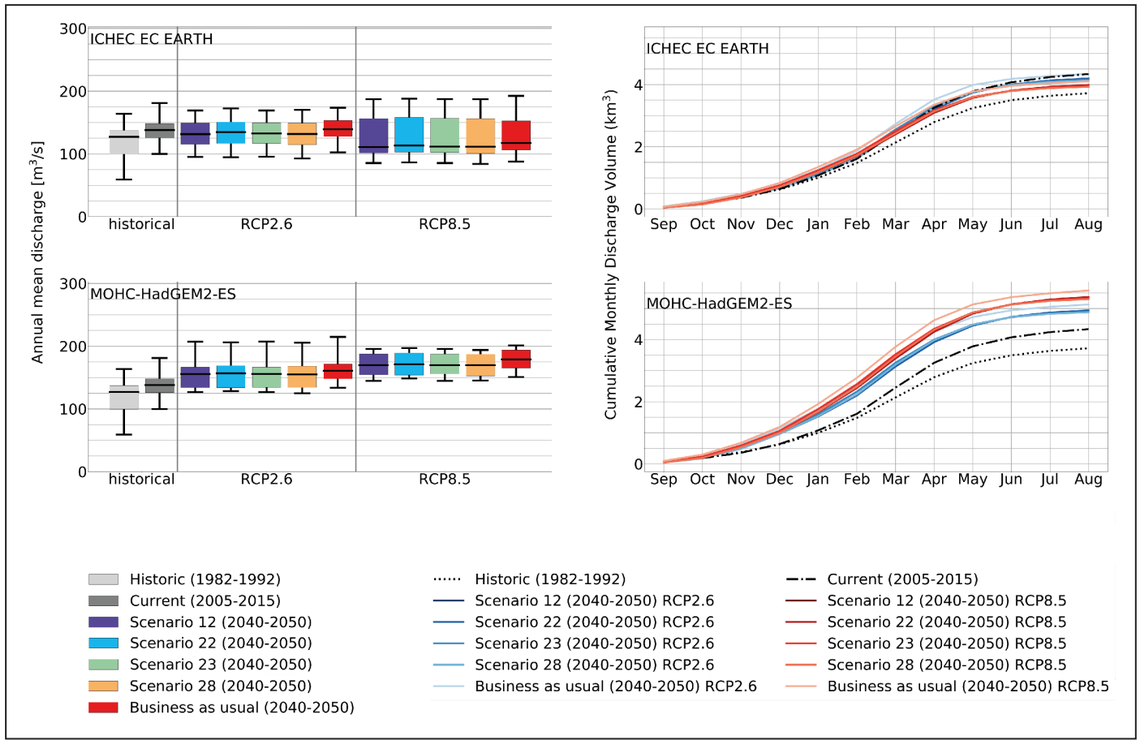


Figura 3: Resultados del balance hídrico futuro al 2050 hasta la zona de medición de Condorcerro. Cada fila representa el futuro según un modelo climático, en este caso se muestran dos modelos de cinco que representan la mayor variabilidad. Las figuras de la columna izquierda muestran los caudales medios anuales en m³/s, cada boxplot representa un escenario socioeconómico agrupado por los escenarios climáticos RCP2.6 y RCP8.5.

Las figuras de la columna derecha muestran los caudales acumulados en km3, las líneas en tonos azules agrupan los escenarios socioeconómicos con el escenario climático RCP2.6, y las líneas rojas los escenarios socioeconómicos con el escenario climático RCP8.5.

4 CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha elaborado un modelamiento hidrológico que integra por primera vez datos climáticos y socioeconómicos de la cuenca alta y media del río Santa. Con estos datos se han diseñado escenarios climáticos y socioeconómicos futuros para evaluar la oferta, demanda, y balance de agua al año 2050, cuyos resultados se compararon con el periodo 2005 – 2015.

- Por una parte, el cambio climático genera dos impactos principales: 1) aumento de las lluvias en los meses de enero, febrero y marzo, lo que incrementaría el caudal del agua en 10% anual y 2) un retroceso glaciar que reduciría la oferta de agua en los meses de julio, agosto y setiembre en aproximadamente 33%.

- Por otra parte, las condiciones sociales, políticas, y culturales que influyen en la demanda de agua tienen un efecto mayor en la escasez de agua principalmente en la temporada sin lluvias entre julio y setiembre. La demanda de agua agrícola destaca por ser la de mayor uso, pero también por ser la de menor eficiencia de uso y que mayores pérdidas tiene.

- Es importante tener en cuenta que el estudio ha usado diferentes hipótesis para subsanar la limitada disponibilidad de datos. Por ello, los resultados deben tomarse con cautela. Sin embargo, la tendencia principal es que la oferta de agua disminuirá durante el periodo sin lluvias, situación que podría verse exacerbada sino hay una gestión adecuada de la demanda de agua.

5 RECOMENDACIONES

La limitada disponibilidad de datos hidrometeorológicos y socioeconómicos son la principal limitación para tener una evaluación más certera de las condiciones hidrológicas en la cuenca del río Santa tanto actual como futura. Por ello se recomienda continuar con la inversión pública y privada para mejorar las redes de monitoreo e investigación sobre el tema.

- Para mejorar la información sobre la oferta de agua, es preciso optimizar las redes de monitoreo de caudales en las diferentes subcuencas. Para mejorar la información sobre la demanda de agua, es necesario también actualizar los de datos de demanda, además de homogenizar las bases de datos existentes.

- Frente al inminente escenario de reducción en la oferta de agua durante el periodo de estío, se recomiendan, entre otras, dos acciones principales: p: 1) reducir las pérdidas de agua en el sector agrícola, y 2) mejorar los sistemas de almacenamiento y fomentar la inversión pública y privada así como la distribución del agua, particularmente durante las épocas de lluvia.

- En este contexto, los proyectos multipropósito orientados a incrementar el almacenamiento de agua y a reducir el peligro proveniente de los glaciares, resaltan una forma eficiente de adaptación al cambio climático en la cuenca del Santa y otros espacios similares en la región Andina.

REFERENCIAS

Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., Felipe-Obando, O., 2020. *Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day*. Hydrol. Sci. J. 65, 770–785. https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411

Bergström, S., 1992. *The HBV model - its structure and applications*. Swedish Meteorol. Hydrol. Institute, Norrköping.

Drenkhan, F., Carey, M., Huggel, C., Seidel, J., Oré, M.T., 2015. *The changing water cycle: climatic and socioeconomic drivers of water-related changes in the Andes of Peru*. Wiley Interdiscip. Rev. Water 2, n/a-n/a. https://doi.org/10.1002/wat2.1105

García Hernández, J., Paredes Arquiloa, J., Foehn, A., Roquier, B., 2016. Rs Minerve - *Technical Manual v2.7.*

La elaboración del presente resumen ejecutivo fue posible gracias al Proyecto AguaFuturo financiado por la Fundación Nacional Suiza de Ciencias (SNSF) proyecto N° 205121L_166272, y por la Fundación Alemana de Investigación (DFG) proyecto BA-1150/21-1.

El proyecto ha sido liderado de forma colaborativa entre el Departamento de Geografía (GIUZ) de la Universidad de Zúrich – Suiza, el Instituto de Modelamiento de Hidrología y Sistemas Ambientales (IWS) de la Universidad de Stuttgart – Alemania, y el Centro para los estudios de riesgo interdisciplinario e Innovación (ZIRIUS) también de la Universidad de Stuttgart – Alemania. El proyecto se ha ejecutado con la activa y estrecha colaboración de instituciones y expertos peruanos del Área de Evaluación de Glaciares (AEGL) y Lagunas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM).

Agosto del 2021

https://eclim-research.ch/agua-futuro