

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA USOS MÚLTIPLES DEL SISTEMA INTEGRAL LAGUNILLAS EN EL ALTIPLANO PERUANO, BAJO LAS CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Isidro A. Pilares^{1,2,3} y Roberto Alfaro²

¹Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez Juliaca, Perú.

²Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.

³Doctorando en Recursos Hídricos Universidad Agraria La Molina Lima, Perú.

E-mail: ralfaro@unap.edu.pe

Resumen

El objetivo de la investigación es el de establecer un modelo para evaluar la disponibilidad hídrica de la unidad hidrográfica del río Cabanillas (2,845 km²) perteneciente al Lago Titicaca en el Altiplano peruano para diferentes escenarios de cambio climático regionalizado. En la modelación hidrológica de la disponibilidad hídrica regulada de la cuenca del río Cabanillas utilizando el modelo WEAP para evaluar el comportamiento de la mencionada disponibilidad para el sistema integral de Lagunillas considerando los efectos del cambio climático del escenario actual y futuro sobre el sistema de almacenamiento y demandas de agua. Se usaron los escenarios climáticos regionalizados de tres (3) modelos globales: CANESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR; y dos (2) escenarios de emisión: un escenario intermedio, RCP 4.5; y un escenario pesimista, RCP 8.5. El modelo se construyó en base a un escenario futuro proyectado para el año 2099. Los resultados indican que solo se satisfice el 80% de la demanda; sin embargo, el cambio climático ejerce un efecto positivo sobre los aportes hídricos, el cual se manifiesta en un incremento del 15% a 20% de la disponibilidad hídrica para el Sistema Integral de Lagunillas en todos los escenarios, destacándose los de CANESM2-RCP4.5 y CANESM2-RCP8.5.

Palabras clave: Disponibilidad Hídrica, Cambio Climático, WEAP

Introducción

La disponibilidad del recurso hídrico en la actualidad en el Perú y el Mundo se torna cada vez más escasa, debido a múltiples factores (UNESCO-WWAP, 2003). El Perú ha sido reconocido como un país vulnerable a los efectos nocivos del cambio climático, pues presenta siete de las nueve características de vulnerabilidad que la convención ha definido (MINAM, 2010), lo cual refleja un alto grado de exposición a las amenazas dado que en el desarrollo urbano y de la agricultura que a la fecha no se contempla los riesgos climáticos a los cuales se podrían ver afectados. El Proyecto Integral Lagunillas es uno de los proyectos hidráulicos más importantes del Sur del Perú, que posibilitará la incorporación al riego de 30,844.00 has distribuidos en diez (10) sectores de riego, con las aguas reguladas del río Ichocollo en el embalse Lagunillas y afluentes del río Cabanillas. El esquema hidráulico del Sistema Integral Lagunillas, comprende un embalse de almacenamiento en la laguna Lagunillas, ya construido y en operación, y diferentes sistemas de captación, conducción y distribución de agua en proceso de implementación, que permitan el riego de los distintos sectores (PELT, 2014).

Una de las formas de demostrar este comportamiento es realizando modelaciones hidrológicas con software diseñados para evaluación y planeación del agua, por lo que en este trabajo se aplicó el modelo WEAP (Sieber & Purkey, 2015), que es un modelo capaz de realizar escenarios futuros a partir de un escenario actual de disponibilidad, con el ingreso de datos climáticos, caracterización de la cuenca, cobertura vegetal y validación y calibración del modelo entre otros de interés, como

lo analizaron en aspectos agrícolas (Ahmadaali, Barani, Qaderi, & Hessari, 2018), relacionando la incertidumbre socioeconómica (Bhave, Conway, Dessai, & Stainforth, 2018), impacto de la operación de reservorios (Ngo, Masih, Jiang, & Douven, 2016), aplicación del dowsaling (Olsson et al., 2017).

En la investigación se pretende realizar la planeación y/o modelación hidrológica en base a la disponibilidad del recurso hídrico regulado de la cuenca del río Cabanillas, con el uso del WEAP que presenta mayores ventajas porque integra las ofertas con las demandas de agua en relación con la gestión del recurso y además de su capacidad de trabajar sobre escenarios futuros, como el escenario de cambio climático.

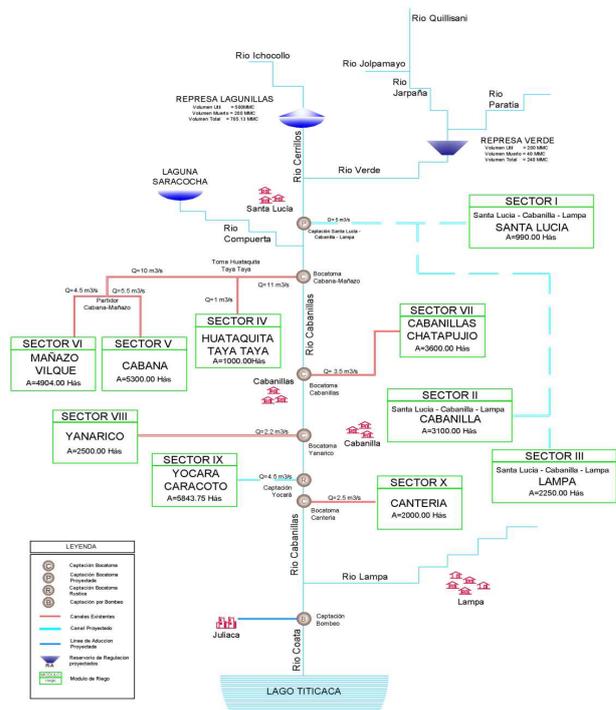


Figura 1.- Esquema hidráulico del proyecto integral Lagunillas (PELT, 2014).

Resultados

Los resultados principales se centran en la evaluación de la información histórica y de los seis escenarios hidrológicos con efecto de Cambio Climático, proyectados en las estaciones pluviométricas para dos periodos de tiempo continuos, para información histórica desde enero de 1956 a diciembre de 2016; y Futuro desde enero de 2011 a diciembre de 2099.

La información de escenarios para Puno disponibles y usados en la tercera Comunicación del MINAM (2016), que son escenarios regionalizados de 3 modelos globales (CANESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) y 2 escenarios de emisión (un escenario intermedio: RCP 4.5; y un escenario pesimista: RCP 8.5) dando un total de 3x2=6 escenarios posibles (SENAMHI, 2014).

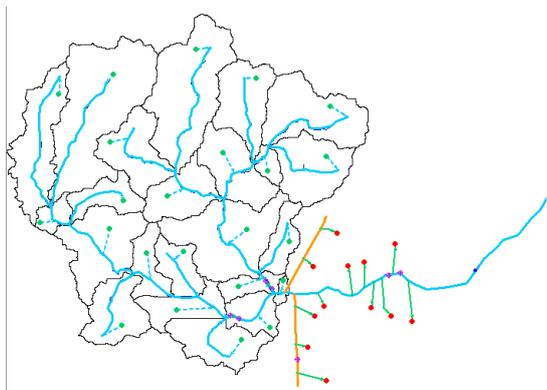


Figura 2.- Esquema de modelamiento de la oferta y demanda del sistema planteado.

El modelamiento del sistema se hizo en primer lugar bajo condiciones reales con información histórica y en segundo lugar bajo influencia del cambio climático, planteando 3 escenarios de almacenamiento y demandas asumidas, los cuales son presentados: solo con almacenamiento de Lagunillas, con el aporte del río Verde y con almacenamiento del río Verde.

El modelado bajo condiciones actuales con información histórica: el primer escenario del sistema con regulación en lagunillas y río verde no regulado con las demandas al 100%, se tiene que el embalse de Lagunillas presenta hasta un 11% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 13 a 53% y de 53% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3. Las demandas planteadas no son satisfechas completamente solo en un 30%.

El segundo escenario regulación en lagunillas y río verde trasvasado y almacenado en lagunillas con las demandas al 100%, El embalse de Lagunillas presenta hasta un 13% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 13 a 78% y de 78% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3. Las demandas planteadas son satisfechas solo en un 52%. El tercer escenario con regulación en lagunillas y río verde almacenado en un nuevo reservorio con las demandas al 100%, el embalse de Lagunillas presenta hasta un 15% del tiempo rebose en el almacenamiento, el almacenamiento entre los 30 y 250 MM3 va variando linealmente de 13 a 72% y de 72% a 100% el almacenamiento esta en 30 MM3, las demandas planteadas son satisfechas en un 60%.

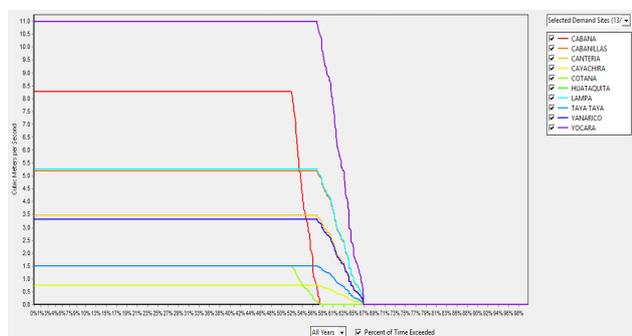


Figura 3.- Demanda entregada operando solo lagunillas y con las demandas planteadas (100%) CANES 4.5.

Conclusiones

Aplicando la metodología propuesta y considerando el modelamiento de las aguas de la Presa de Lagunillas y del Río Verde con información histórica y bajo la influencia del cambio climático para diferentes escenarios se concluye que no se satisface completamente la demanda planteada al 100%:

a) Modelamiento del sistema bajo escenarios de almacenamiento y demandas planteadas nos indica que:

- Con el sistema de regulación de Lagunillas y río verde no regulado, con las demandas planteadas al 100%, satisface solo en un 25%.

- Con el sistema de trasvase del río verde a la Presa de Lagunillas, con las demandas planteadas al 100%, son satisfechas en un 42%.

- Con el sistema de regulado Lagunillas y río Verde regulado, las demandas planteadas al 100%, son satisfechas en un 55%.

b) Modelamiento del sistema de almacenamiento y de demandas planteadas considerando los escenarios de cambio climático.

- Con sistema de regulación de Lagunillas y el río verde no regulado, para demandas planteadas al 100%. Se observa que, bajo escenarios de cambio climático, estas solo cubren en más del 40% de las demandas planteadas de los cuales resalta en mayor medida el escenario canes 4.5 con un 56%.

- Con sistema de regulación de Lagunillas y trasvase de las aguas del río verde a la presa de Lagunillas con demandas planteadas al 100%, son satisfechas en promedio de todos los escenarios en un 55%, resaltando siempre el escenario con cambio climático CANES4.5 con un 65%.

- Con sistema de regulación de Lagunillas y aguas del río verde almacenado en reservorio con demandas planteadas al 100%, son satisfechas en todos los escenarios con cambio climático en un 70%, resaltando los escenarios con cambio climático CANES4.5 y CANES8.5, con un 75%.

- Para satisfacer la demanda al 100% se requiere realizar la optimización del recurso hídrico mediante una regla de operación mediante una programación lineal y dinámica.

Referencias bibliográficas

Ahmadaali, J., Barani, G.-A., Qaderi, K., & Hessari, B. (2018). Analysis of the Effects of Water Management Strategies and Climate Change on the Environmental and Agricultural Sustainability of Urmia Lake Basin, Iran. *Water*, 10(2), 160.

Bhave, A. G., Conway, D., Dessai, S., & Stainforth, D. A. (2018). Water Resource Planning Under Future Climate and Socioeconomic Uncertainty in the Cauvery River Basin in Karnataka, India. *Water Resources Research*, n/a-n/a.

MINAM. (2010). *Plan de acción de adaptación y mitigación frente al cambio climático*. Retrieved from Ministerio del Ambiente, Lima:

MINAM. (2016). *El Perú y el Cambio Climático: Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Retrieved from Ministerio del Ambiente, Lima:

Ngo, L. A., Masih, I., Jiang, Y., & Douven, W. (2016). Impact of reservoir operation and climate change on the hydrological regime of the Sesan and Srepok Rivers in the Lower Mekong Basin. *Climatic Change*. doi:10.1007/s10584-016-1875-y

Olsson, T., Kämäräinen, M., Santos, D., Seitola, T., Tuomenvirta, H., Haavisto, R., & Lavado-Casimiro, W. (2017). Downscaling climate projections for the Peruvian coastal Chancay-Huaral Basin to support river discharge modeling with WEAP. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 26-42.

PELT. (2014). *Estudio Hidrológico del proyecto "Sistema Integral Lagunillas"*. Retrieved from Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca, Puno:

SENAMHI. (2014). *Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en Perú*. Retrieved from Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Lima:

Sieber, J., & Purkey, D. (2015). *Water Evaluation And Planning (WEAP), User Guide*. In SEI (Ed.).

UNESCO-WWAP. (2003). *Agua para todos Agua para la vida: Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos*

Hídricos en el Mundo. Retrieved from Paris, Francia.