

EL EQUIPO DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE AGUA

DEL INSTITUTO NEXUS DE AREQUIPA

Presenta:

HidroAQP

Manual de Usuario



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

P
PURDUE
UNIVERSITY®

Discovery Park

Autores: Fariborz Daneshvar,
Jane Frankenberger, Laura
Bowling, Hector Novoa, and
Katy Mazer
Arequipa Nexus Institute

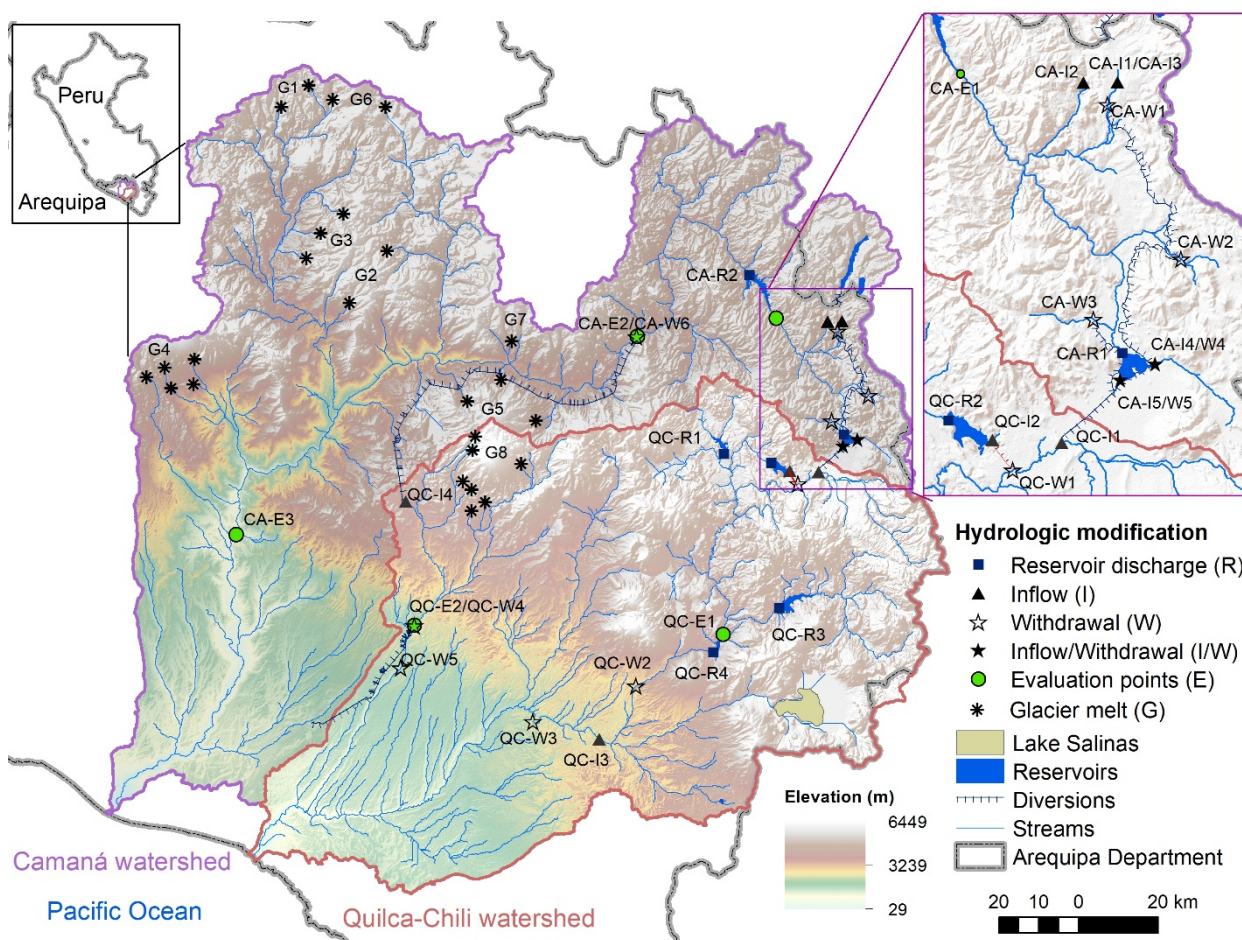
Contenido

INTRODUCCIÓN A LA HERRAMIENTA	2
DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA.....	3
USANDO LA HERRAMIENTA	4
Para comenzar: La pestaña Mapa.....	4
Pestaña Caudales Diarios	5
Pestaña Caudales Mensuales.....	6
Pestaña Tendencias de Flujo.....	7
Descarga de datos	8
Pestaña “Acerca de”	8
APLICACIONES.....	9
Comparar años.....	10
Comprender el impacto de la modificación hidrológica.....	11
PARA MÁS INFORMACIÓN	14
Accesibilidad de los datos	14
SOBRE EL EQUIPO	14
Equipo de desarrollo	14
RECONOCIMIENTOS.....	15
REFERENCIAS.....	15

INTRODUCCIÓN A LA HERRAMIENTA

HidroAQP es una herramienta gratuita en línea que proporciona información sobre los caudales de dos cuencas hidrográficas en el Departamento de Arequipa, la Camaná y la Quilca-Chili. Los usuarios pueden seleccionar cualquier arroyo o tramo de río en estas cuencas, que se muestran en el mapa de abajo, y ver el flujo diario, mensual y anual estimado en esa ubicación. Los resultados pueden verse en el navegador web o descargarse para su análisis. Se ha estimado el caudal de cada tramo del río utilizando la Herramienta de Evaluación de Suelos y Aguas, un modelo de simulación hidrológica, con el fin de proporcionar datos coherentes en toda la cuenca. Los datos de los caudales monitoreados por el SENAMHI se utilizaron para mejorar y verificar las estimaciones, pero como los datos monitoreados son incompletos, el modelo fue necesario para tener un registro consistente y completo. Se dispone de nueve años, de 2009 a 2017.

Además, también se proporcionan estimaciones de lo que sería el caudal sin las numerosas presas y embalses, extracciones y trasvases de agua que han alterado el caudal en estas cuencas. Entender el impacto de estas modificaciones hidrológicas es útil para cuantificar el cambio medioambiental y abordar cuestiones sobre cómo la gestión está afectando a los caudales ecológicos en estas cuencas.



DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA

Se utilizó la Herramienta de Evaluación de Suelos y Aguas (SWAT) para simular el caudal diario de las dos cuencas fluviales interconectadas. El SWAT es un modelo de cuenca semidistribuido de base física que evalúa la respuesta hidrológica del uso y la gestión de la tierra y el cambio climático a escala de cuenca. Todas las entradas del modelo se describen en Daneshvar et al. (en preparación), y a continuación se resume lo que allí se detalla.

Las bases de datos de suelos y coberturas del suelo para el Departamento de Arequipa fueron desarrolladas a partir de los mapas regionales del Ministerio del Ambiente de Perú. Las bases de datos están disponibles para su descarga pública en las siguientes urls:

- Estimación de las propiedades de la superficie terrestre para el modelamiento hidrológico en Arequipa, Perú.
<https://doi.org/10.4231/GYN8-W684>
- Estimación de las propiedades físicas del suelo para el modelamiento hidrológico en Arequipa, Perú
<https://doi.org/10.4231/N5MX-9W30>

SWAT requiere el tiempo diario, incluyendo la precipitación, la temperatura mínima y máxima, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento para la simulación hidrológica, y estos se obtuvieron de Mapas Climáticos de Arequipa versión 2 desarrollado por Moraes et al. (2020), que es la misma información utilizada en la herramienta AQP-Clima. También se simuló el aporte de agua de deshielo de ocho glaciares principales dentro de las cuencas.

El caudal natural de estos ríos se ha visto muy modificado por los embalses, las extracciones y los trasvases entre cuencas (tablas 1 y 2). Entre 1958 y 2009 se construyeron ocho represas. Hay nueve extracciones del sistema fluvial, para el riego en regiones semiáridas y el suministro de agua para la ciudad de Arequipa. Además, hay un flujo de retorno de la planta de tratamiento de agua de la mina Cerro Verde. Hay dos importantes trasvases de agua entre cuencas, en los que se extrae agua de un río y se descarga en otro para complementar el caudal para el riego, y un trasvase de agua del río Sumbay a la represa de Pillones en la cuenca del río Quilca-Chili. La capacidad de SWAT para incorporar modificaciones artificiales a la hidrología natural, como la transferencia y el uso del agua, junto con su capacidad para simular reservorios naturales y creados por el hombre, lo convierten en una herramienta adecuada para la simulación hidrológica de estas dos cuencas altamente diseñadas. El modelo se ha configurado y calibrado para que se ajuste lo más posible a los datos reales monitoreados, que representan las condiciones actuales.

Cuadro 1: Modificaciones hidrológicas en las cuencas del Camaná y del Quilca-Chili

Represa	Volumen máximo utilizable [10⁶ m³]	Año de Construcción	Ubicación en el mapa
El Frayle	127	1958	QC-R3
Condorama	259	1960	CA-R2
El Pañe	40	1961	CA-I1& CA-I3
Aguada Blanca	30	1972	QC-R4
Dique los Españoles	9	1992	CA-R1
Pillones	78	2006	QC-R2
Chalhuanca	25	2009	QC-R1
Bamputañe	100	2009	CA-I2 ¹
Extracción	Volumen anual [10⁶ m³/año]	Año de Construcción	Ubicación en el mapa
Ciudad de Arequipa	62		QC-W2
Proyecto de irrigación de La Joya	74		QC-W3
Proyecto de irrigación de Majes	339	1971	QC-W4
Proyecto de irrigación de Santa Rita	37		QC-W5

Flujo de retorno	Volumen anual [10 ⁶ m ³ /año]	Año de Construcción	Ubicación en el mapa
Sociedad Minera Cerro Verde	32		QC-13

Cuadro 2: Transferencias de agua en las cuencas del Camaná y del Quilca-Chili

Nombre	Volumen anual [10 ⁶ m ³ /año]	Año de Construcción	Desde (Ubicación en el mapa)	Hacia (Ubicación en el mapa)
Canal Majes-Siguas	394	1971	Río Colca, cuenca Camaná (CA-W6)	Río Sigwas, cuenca Quilca-Chili (QC-I4)
Canal Pañe-Sumbay	178		El Pañe and Bamputane (CA-W1), río Blanquillo (CA-W2), Antasalla (CA-W3), Jancolacaya (CA-I4/W4), Dique los Españoles (CA-I5/W5)	Río Sumbay (QC-I1)
Túnel Pillones	51		Río Sumbay (QC-W1)	Represa Pillones (QC-I2)

Después de calibrar el modelo para que se ajustara a las condiciones actuales, se ejecutó con todos las represas, las salidas, los flujos de retorno y las transferencias enumeradas anteriormente. Estas simulaciones de flujo no regulado o naturalizado también se proporcionan en la herramienta HidroAQP. Las tendencias en la pestaña Tendencias de Flujos de la herramienta se calcularon mediante una regresión lineal.

Esta herramienta se basó en la herramienta SWATFlow (<https://mygeohub.org/groups/water-hub/swatflow>) desarrollado por el proyecto WaterHUB (<https://mygeohub.org/groups/water-hub/introduction>; Rajib et al. 2016)

USANDO LA HERRAMIENTA

Para comenzar: La pestaña Mapa

La pestaña Mapa permite a los usuarios seleccionar el tramo del río para el que se mostrarán los datos del caudal. La vista del mapa puede ajustarse ampliando el zoom y cambiando el mapa base mostrado. El usuario puede seleccionar cualquier tramo de río, que se vuelve rojo cuando se selecciona. El nombre del río, la latitud y la longitud se proporcionan, y el usuario puede seleccionarlo para ver el caudal.

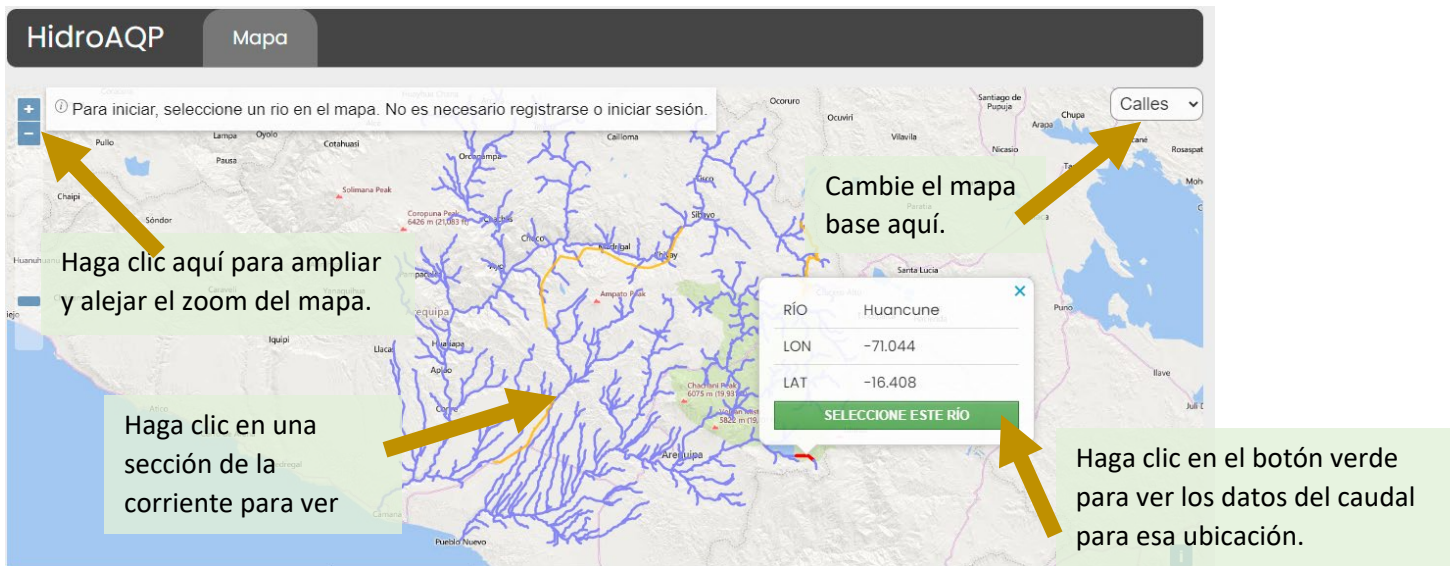


Figura 2. Pestaña del mapa en la que los usuarios pueden hacer clic en un tramo de arroyo para ver el nombre del río, la latitud y la longitud.

Pestaña Caudales Diarios

Una vez seleccionado un arroyo, esta pestaña muestra el caudal diario del arroyo seleccionado, para cualquier periodo de tiempo entre 2009 y 2017 (Figura 3). Además de ver el patrón a lo largo de todo el año, se puede ver el caudal en cualquier día específico. Los usuarios pueden ver tan sólo un mes, o los 9 años. El intervalo de fechas puede cambiarse de tres maneras: ampliando el área del gráfico en la parte inferior, seleccionando el intervalo de fechas o un periodo específico en la parte superior izquierda.

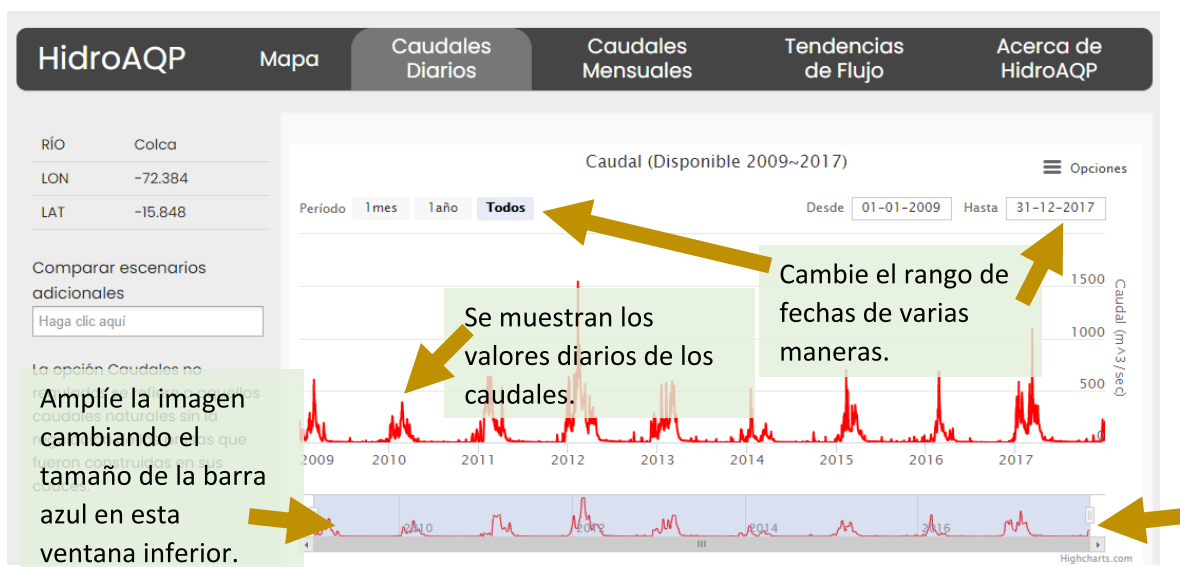


Figura 3. La pestaña de caudales diarios muestra series temporales diarias de caudales simulados.

Para ver el caudal sin modificaciones hidrológicas, añada los "Caudales no regulados" como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Comparación de los caudales diarios regulados y no regulados para 2012.

Pestaña Caudales Mensuales

La pestaña de Caudal Mensual muestra el caudal medio de nueve años para cada mes, y el caudal máximo y mínimo simulado para cada mes. Esto es útil para entender en qué momento del año hay agua disponible (Figura 5).

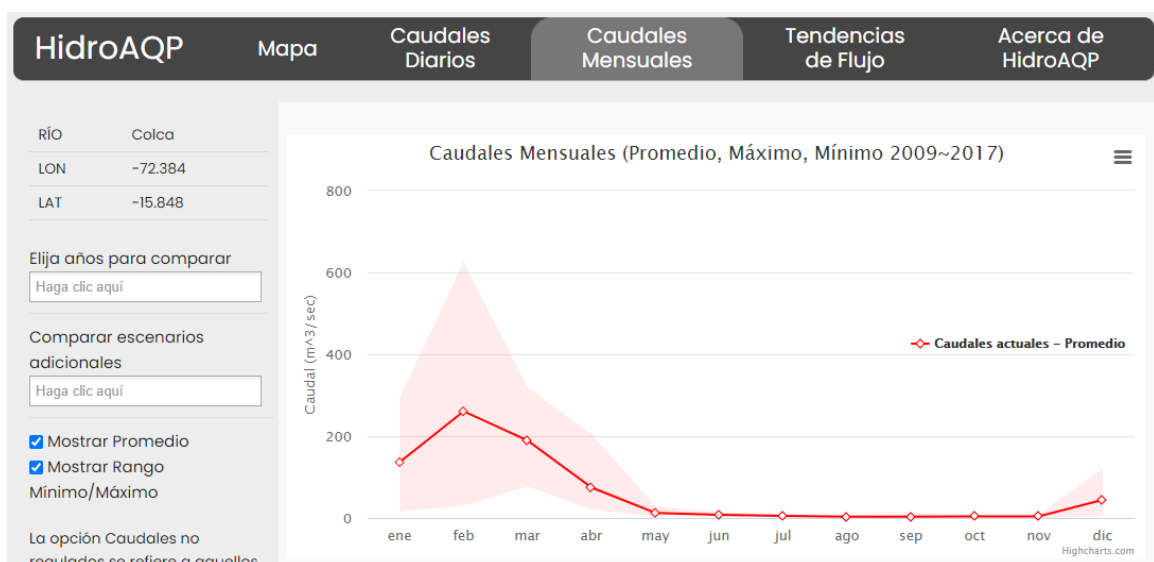


Figura 5: La pestaña de caudal mensual muestra el caudal medio mensual calculado a lo largo de todos los años.

También se pueden ver los caudales mensuales de años concretos. Por ejemplo, la figura 6 muestra una comparación de 2012, que es un año con un caudal muy alto, con 2018, que es un año con un caudal bajo. Puede activar o desactivar la función de máximo/mínimo para que pueda verlos con claridad.

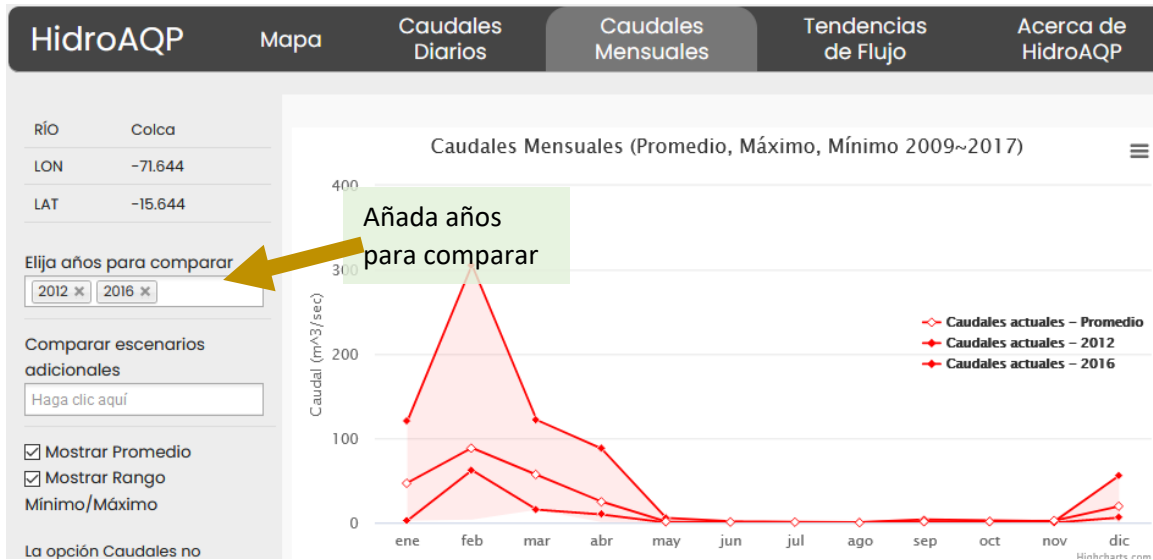


Figura 6: La pestaña de flujo mensual también permite la comparación entre años.

También puede ver el caudal medio mensual para el escenario sin modificaciones hidrológicas. En promedio, el caudal sería mayor en este tramo sin las extracciones, y el caudal máximo también sería mayor (Figura 7).

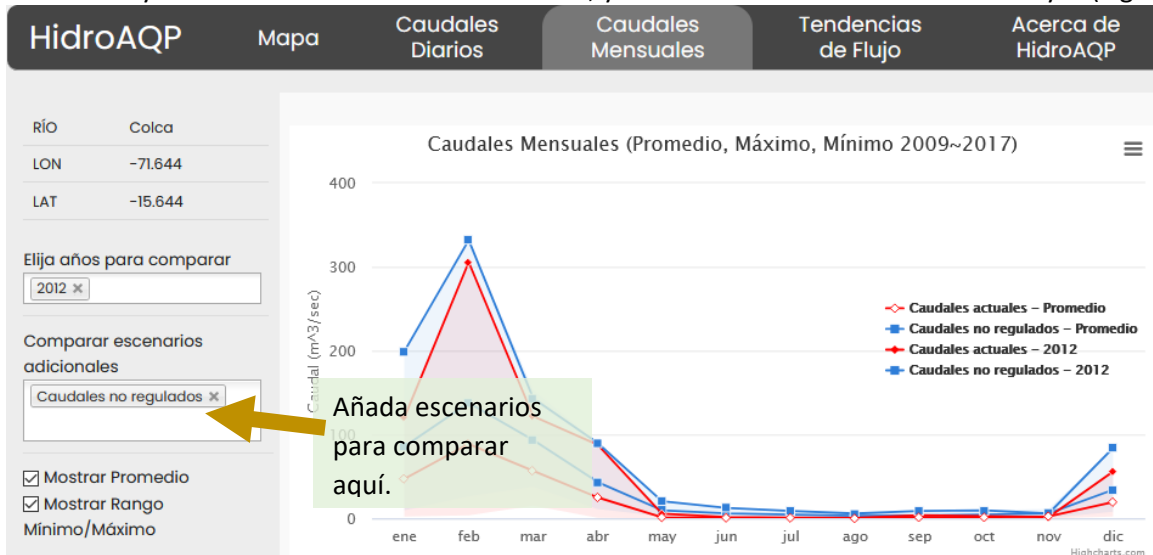


Figura 7: La pestaña de caudal mensual también permite comparar el caudal regulado con el no regulado.

Pestaña Tendencias de Flujo

La pestaña Tendencia del caudal muestra el caudal medio anual de todos los años como una línea roja. También muestra la tendencia del caudal anual como una línea negra, que da una idea de si el caudal está aumentando o disminuyendo. Este arroyo no tiene una tendencia al aumento ni a la disminución

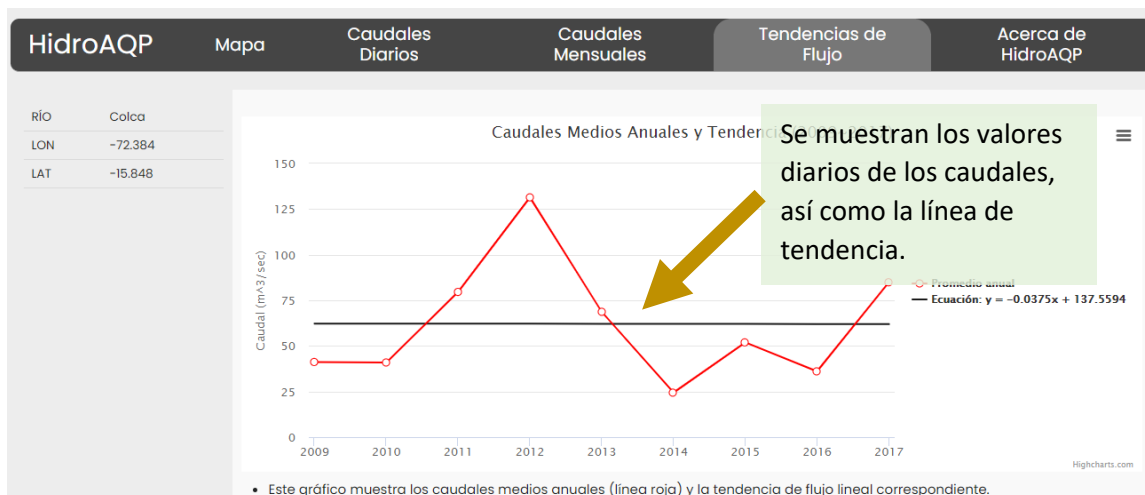


Figura 8: La pestaña de tendencia del caudal ayuda a visualizar si el caudal está cambiando con el tiempo.

Para ver otra ubicación, vuelva a la pestaña Mapa.

Descarga de datos

Los datos proporcionados en cualquiera de las pestañas pueden descargarse seleccionando las tres líneas de la parte superior derecha y, a continuación, seleccionando la descarga en formato CSV o XLS, como se muestra en la figura 9.

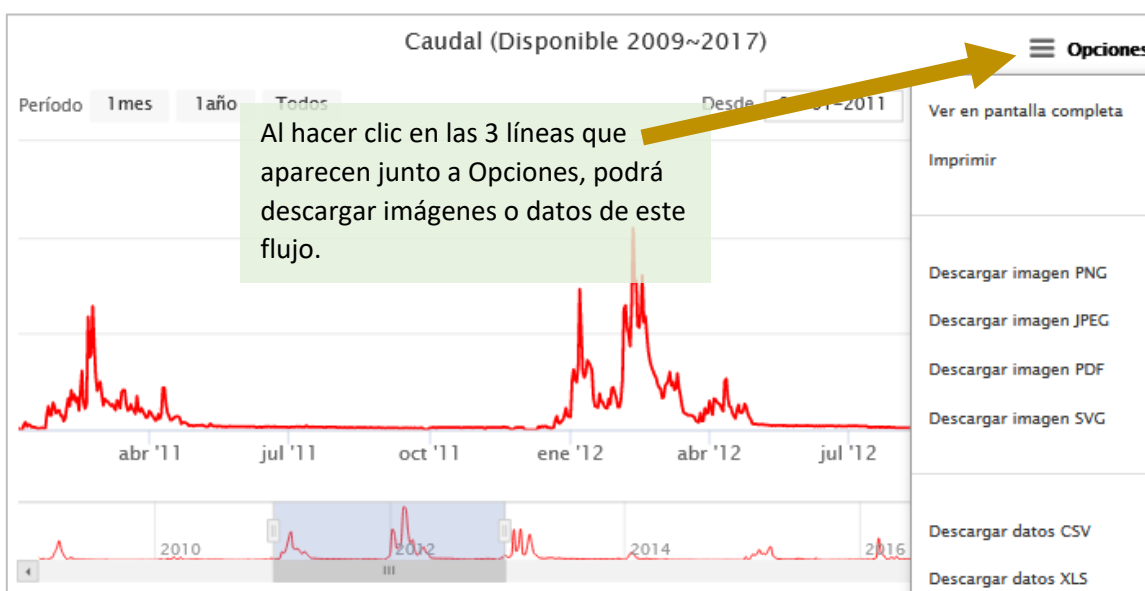


Figura 9. Todos los datos y gráficos mostrados en HidroAQP están disponibles para su descarga.

Pestaña "Acerca de"

Esta pestaña proporciona información sobre la herramienta, y la información de contacto de los desarrolladores si desea ponerse en contacto con ellos. Esta información también está disponible en este manual.

Acerca de HidroAQP

HidroAQP es una herramienta gratuita online que proporciona información de caudales para que los administradores de recursos hídricos la utilicen para comprender la disponibilidad del agua y tomar decisiones sobre la gestión del agua. Estos valores de caudal fueron simulados usando un modelo llamado: 'Herramienta de Evaluación Suelo-Agua' o SWAT.

Los investigadores utilizaron información para cada uno de los usos de la tierra en la cuenca, que se muestran en este mapa, así como información sobre cada tipo de suelo. El Uso del suelo y el Suelo mismo, influyen en la forma que fluye el agua. Los datos climáticos, incluidas las precipitaciones diarias y la temperatura fueron medidas por el SENAMHI y se accedió a ellos desde su página web. Esta herramienta puede ayudar a tomar decisiones sobre cuándo y dónde hay suficientes caudales de flujo.

Se describe el modelo calibrado de SWAT en Daneshvar, F., Frankenberger, J., Bowling, L., Cherkauer, K., Maraes, A., In Review. Development of a strategy for SWAT hydrologic modeling in data scarce regions of Peru. Submitted to J. Hydrologic Engineering.

Esta herramienta fue basado en la herramienta de SWATFlow (<https://mygeohub.org/groups/water-hub/swatflow>) desarrollado para el proyecto de WaterHUB (<https://mygeohub.org/groups/water-hub/introduction>). Referencia: Rajib, A., I.L. Kim, V. Merwade, L. Zhao and C. Song, SWATFlow: A New Platform for Communicating High Resolution River Information to Public Domain for Enhanced Water Resources Management, Research and Education, WaterSmart Innovations, October 2016, Las Vegas, NV, USA.

Desarrollado por el equipo de Gestion Sostenible del Agua del Instituto Nexus de Arequipa
<https://www.agry.purdue.edu/hydrology/projects/NEXUS-SWM/es/>.

El financiamiento para apoyar la investigación del Instituto Nexus de Arequipa para la Alimentación, la Energía, el Agua y el Medio Ambiente fue proporcionado por la Universidad Nacional de San Agustín.

APLICACIONES

Los siguientes ejemplos demuestran cómo el HidroAQP puede ser útil para conocer el caudal de la región.

Comprender el comportamiento de los caudales en el tiempo

El uso más básico de la herramienta es ver el caudal en cualquier lugar de interés para entender mejor cómo cambia a través del tiempo. Por ejemplo, la Figura 10 muestra el caudal del río Chili en Arequipa, que es alto de enero a mayo, pero que en la estación seca se mantiene constante en un valor bajo. En 2017 fue de unos 11 m³/seg, como se muestra en el cuadro de llamadas que es visible cuando se pasa el ratón por encima del gráfico. Este bajo caudal constante se debe a la regulación por parte de las represas aguas arriba, y podría compararse con los requisitos de caudal ecológico objetivo para este río.

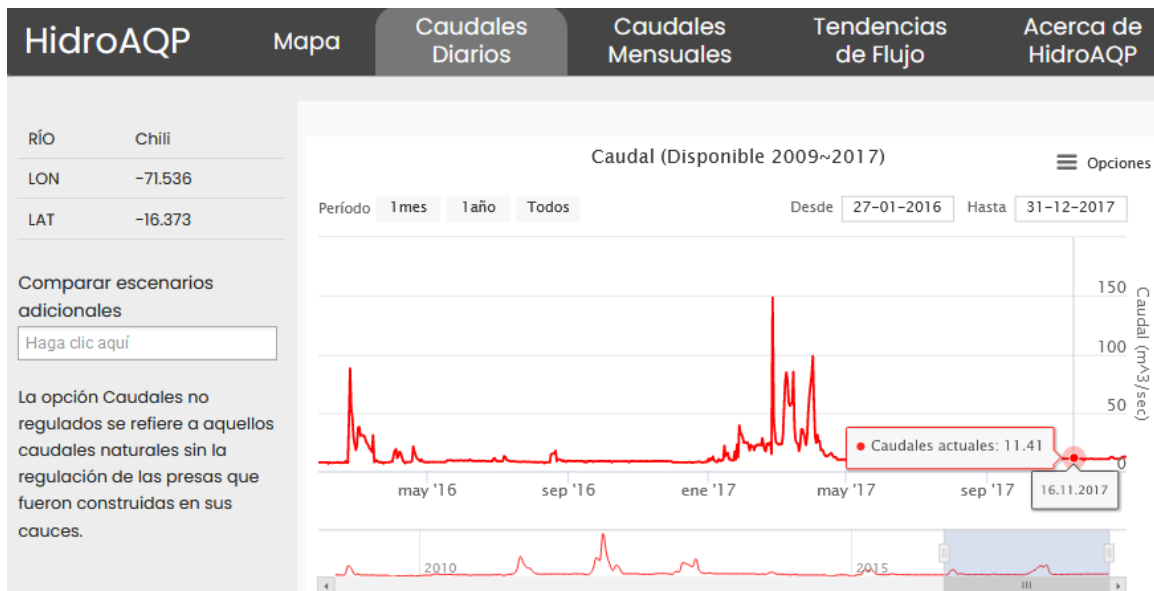


Figura 10: Caudal del río Chili en Arequipa para 2016-2017, con el caudal en un día específico proporcionado en el cuadro de llamadas.

Comparar años

Puede resultar útil examinar el caudal histórico en dos años diferentes para comprender mejor las diferencias y las condiciones que pueden requerir respuestas de gestión diferentes. Esto se puede hacer con los datos diarios, o con los datos mensuales seleccionando cualquier año específico. Por ejemplo, el caudal del río Vitor se muestra a continuación en las figuras 11 y 12 para un año de caudal bajo y otro de caudal alto, tanto para el caudal diario como el mensual.

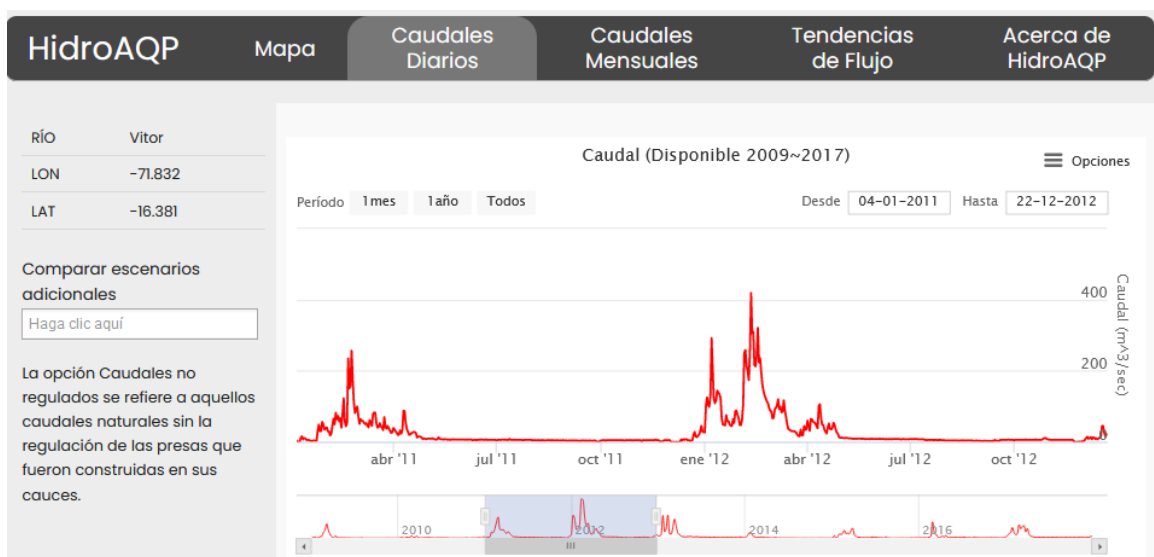


Figura 11: Caudal diario en el río Vitor para 2011 (caudal bajo) y 2012 (caudal alto)

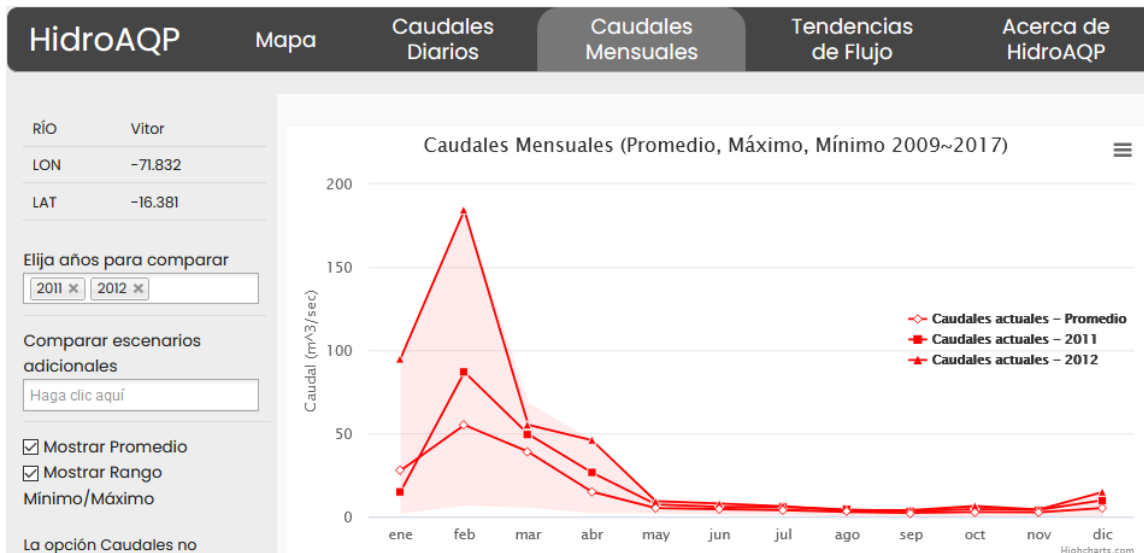


Figura 12: Caudal mensual en el río Vitor para 2011 (caudal bajo) y 2012 (caudal alto), junto con la media de todos los años, y el rango de todos los años mostrado con sombreado.

Comprender el impacto de la modificación hidrológica

Las presas, las extracciones y otras modificaciones hidrológicas tienen impactos diversos. Por ejemplo, el tramo del arroyo resaltado en la Figura 13 se encuentra aguas abajo de la represa de Condoroma. Como se muestra en la Figura 14, el caudal se reduce en gran medida durante la estación húmeda, pero aumenta en gran medida en la estación seca cuando el embalse proporciona agua. Esto es visible tanto en la pestaña de caudal diario como en la pestaña de caudal medio mensual (Figura 15).

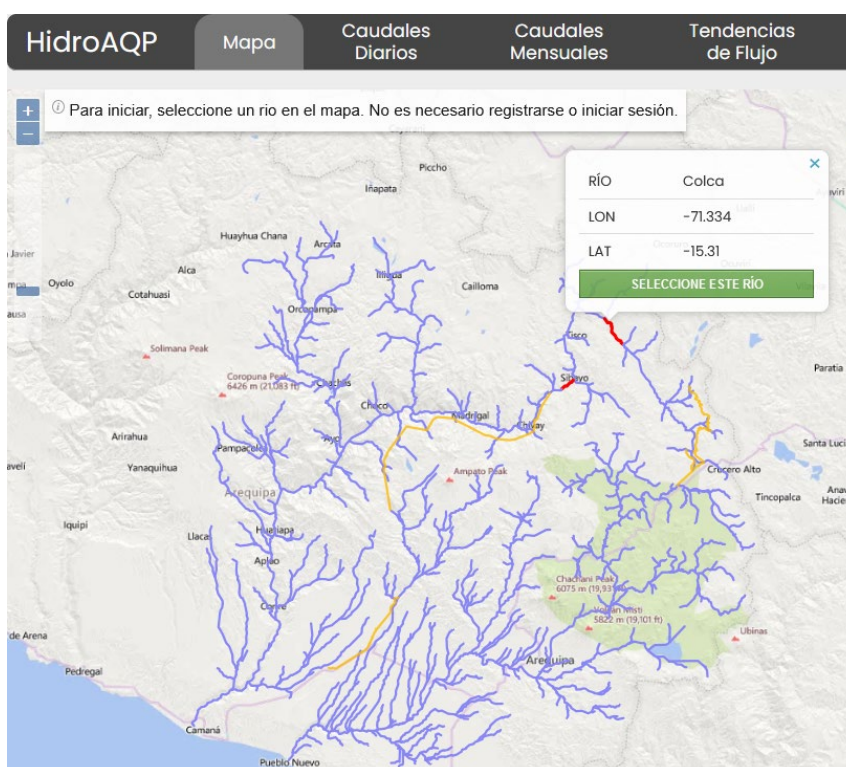


Figura 13: Ubicación del caudal mostrado en el gráfico siguiente. Este es el río Colca aguas abajo de la represa de Condoroma.

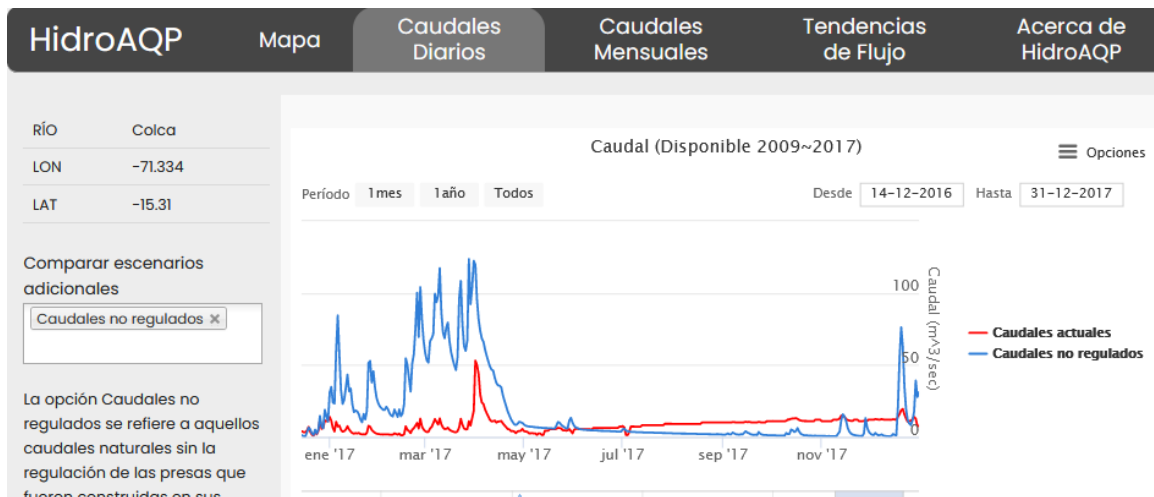


Figura 14: Caudal diario de 2017 aguas abajo de la represa de Condoroma y comparación con lo que sería sin represas y otras modificaciones hidrológicas

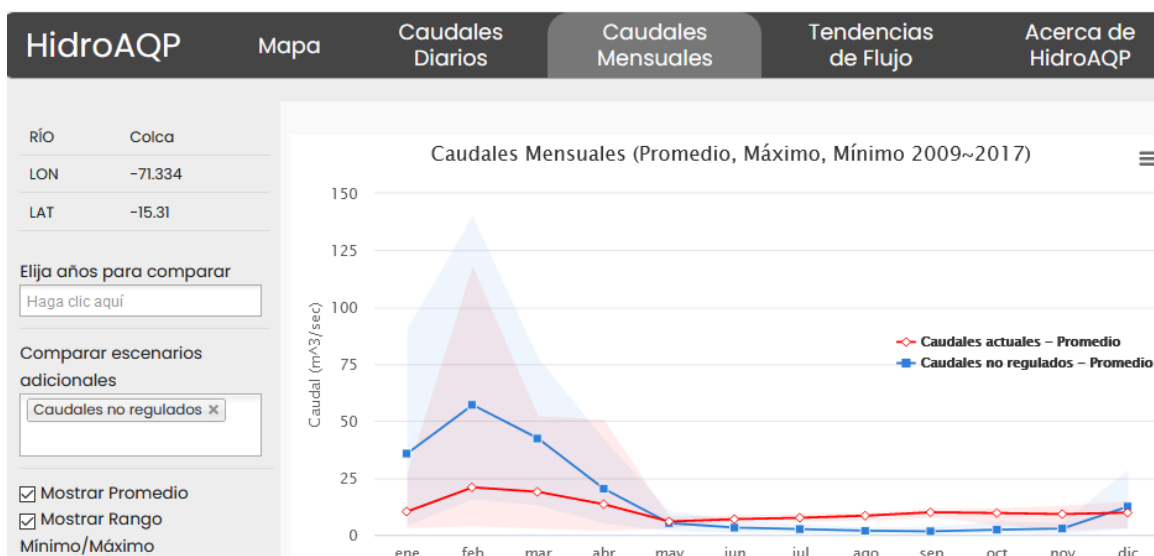


Figura 15: Caudal medio mensual de todos los años aguas abajo de la represa de Condoroma, y comparación con lo que sería sin represas y otras modificaciones hidrológicas

Otro ejemplo muestra el efecto de la transferencia de agua entre cuencas a través del Canal Majes-Siguas. Aguas abajo de la extracción del río Colca en Tuti (punto A de la figura 16), el caudal en condiciones actuales se reduce sistemáticamente con respecto al caudal natural (véase la figura 17). Aguas abajo de la entrada al Río Sigwas (punto B en la Figura 16) el flujo bajo condiciones actuales es muy incrementado con respecto al flujo natural (ver Figura 18).



Figura 16: Ubicación de los puntos A y B cuyo caudal se muestra a continuación.

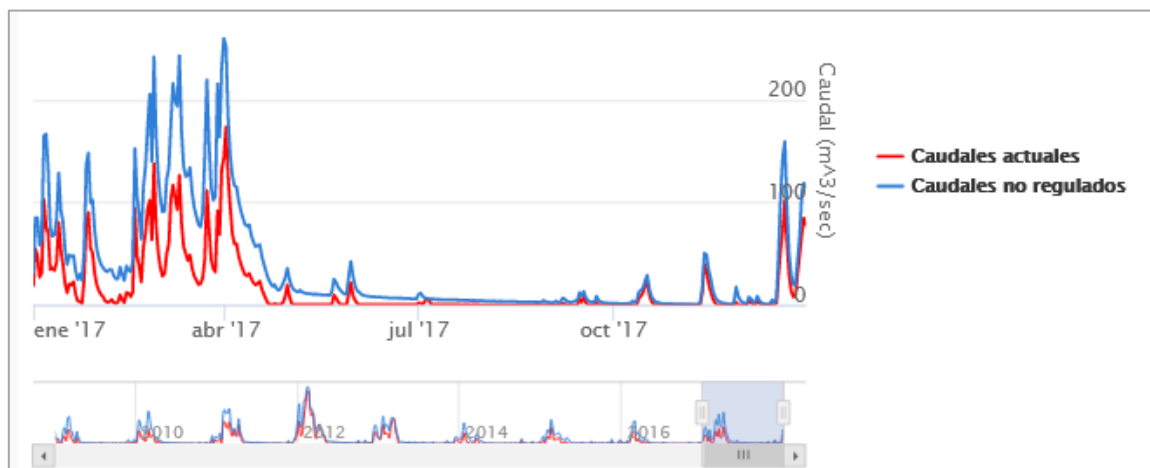


Figura 17: El caudal de 2017 en el punto A, aguas abajo de la extracción al Canal Majes-Sigüas, se reduce hasta en 100 m³/seg con respecto al caudal natural. (Esto muestra los efectos combinados de las represas aguas arriba y de la extracción).

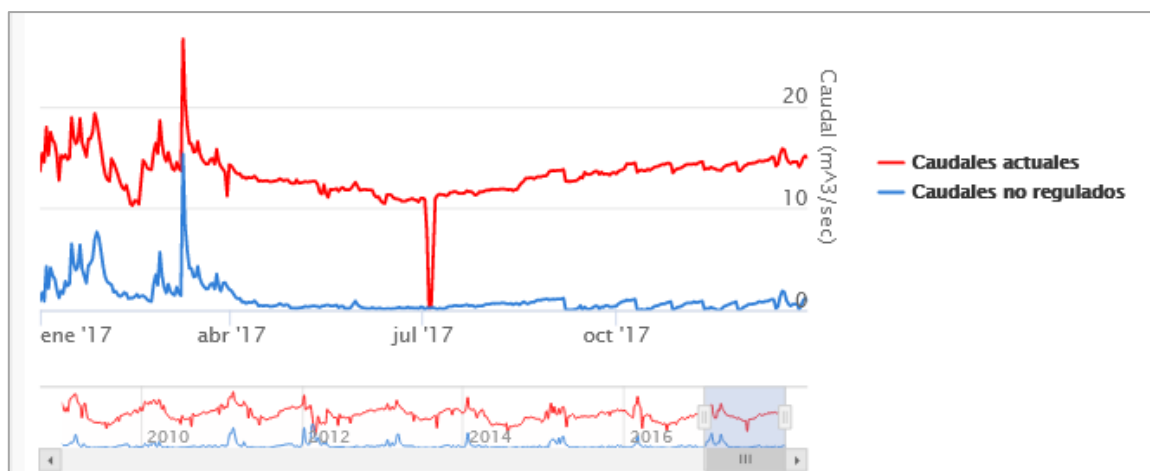


Figura 18: El caudal de 2017 en el punto B, aguas abajo de la entrada a la cuenca del río Sigüas, se incrementa considerablemente con respecto al caudal natural. El aumento es especialmente evidente porque el caudal natural es bastante bajo en este arroyo de cabecera. (El bajo caudal en julio es cuando los registros de AUTODEMA muestran que no hubo caudal a través del Canal, posiblemente debido a reparaciones).

PARA MÁS INFORMACIÓN

Esta herramienta forma parte del proyecto de Gestión Sostenible del Agua del Instituto Arequipa Nexus. Para ver más herramientas y saber más sobre el equipo de SWM, visite nuestro sitio web en <https://www.agry.purdue.edu/hydrology/projects/nexus-swm/es/index.html>.

Junto a este manual, existen otras tres fuentes (formatos) de información sobre cómo utilizar la herramienta: 1) un vídeo de introducción a la herramienta, 1) un documento de guía rápida de la herramienta, y 3) la visita guiada incluida en el sitio web de la herramienta. A continuación mostramos la mayoría de las funciones de la herramienta.

Accesibilidad de los datos

Los datos simulados que se presentan en la herramienta HidroAQP fueron sometidos a una amplia evaluación, pero se trata de un producto simulado y diferirá de los caudales observados para un lugar y un periodo de tiempo determinados. Sin embargo, puede utilizarse para una gran variedad de aplicaciones, ya que no hay lagunas en los datos disponibles. Como ya se ha dicho, se puede descargar directamente de la herramienta y utilizarla en cualquier análisis, sólo hay que asegurarse de citar a Daneshvar et al. (2020).

SOBRE EL EQUIPO

Equipo de desarrollo

Fariborz Daneshvar es investigador asociado postdoctoral en el Departamento de Ingeniería Agrícola y Biológica de la Universidad de Purdue. Lleva a cabo investigaciones sobre la hidrología de las cuencas hidrográficas en relación con las repercusiones medioambientales y socioeconómicas.

Jane Frankenberger es profesora de Ingeniería Agrícola y Biológica en la Universidad de Purdue. Lleva a cabo análisis basados en modelos y hace partícipes a las partes interesadas para mejorar la gestión de las cuencas hidrográficas y la calidad del agua.

Laura C. Bowling es profesora de hidrología en el Departamento de Agronomía de la Universidad de Purdue. Su investigación estudia el impacto del cambio ambiental en los recursos hídricos a múltiples escalas, regímenes climáticos y ecosistemas, y comunica sus conclusiones a grupos de interés.

Hector Novoa es profesor de mecánica de fluidos, hidráulica e hidrología en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Tiene más de 25 años de experiencia en temas ambientales, incluyendo sistemas de agua y alcantarillado, hidrología de aguas superficiales y diseño de estructuras hidráulicas.

Katy Mazer es coordinadora del equipo de Gestión Sostenible del Agua del Instituto Nexus de la Universidad de Purdue. Trabaja con grupos de interesados en Arequipa, Perú, para coproducir herramientas de toma de decisiones sobre la gestión del agua.

Carol Song, Lan Zhao, y I Luk Kim forman parte de Information Technology at Purdue (ITAP), y colaboraron con nuestro equipo para adaptar la herramienta online SWATFlow para crear HidroAQP.

Más información

Esta herramienta forma parte del proyecto de Gestión Sostenible del Agua del Instituto Arequipa Nexus. Para ver más herramientas y saber más sobre el equipo de SWM, visite nuestro sitio web en <https://www.agry.purdue.edu/hydrology/projects/nexus-swm/es/index.html>.

RECONOCIMIENTOS

HidroAQP fue desarrollado por el Centro de Gestión Sostenible de Cuencas Hidrográficas del Instituto Arequipa Nexus, una asociación entre la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA) y la Universidad de Purdue. (<https://www.purdue.edu/discoverypark/arequipa-nexus/>).

Los fondos para apoyar la investigación en el Instituto Nexo de Arequipa para la Alimentación, la Energía, el Agua y el Medio Ambiente fueron proporcionados por la Universidad Nacional de San Agustín.

REFERENCIAS

Rajib, A., I.L. Kim, V. Merwade, L. Zhao and C. Song, SWATFlow: A New Platform for Communicating High Resolution River Information to Public Domain for Enhanced Water Resources Management, Research and Education, WaterSmart Innovations, October 2016, Las Vegas, NV, USA.

Nexus Manejo Sostenible de Cuencas. 2021, Feb 18. Introducción a HidroAQP [Archivo de video]. YouTube. <https://youtu.be/Y5kWB08exc8>

Frankenberger, J.R., F. Daneshvar, L.C. Bowling, K.E. Mazer, y H. Novoa Andia. 2021. Guía de Inicio Rápido: HidroAQP. Instituto Nexus de Arequipa.

Bowling, L.C., A.G.L. Moraes, K.A. Cherkauer, E. Bocardo-Delgado, F. Daneshvar, y J.R. Frankenberger. 2021. Datos de caudal de Arequipa, Peru. Instituto Nexus de Arequipa.

Daneshvar, F., L.C. Bowling, K.E. Mazer, H. Novoa Andia, C. Song, L. Zhao, I.L. Kim, y J.R. Frankenberger. 2020. HidroAQP [Herramienta online]. Disponible a <https://mygeohub.org/groups/water-hub/swatflow/Arequipa>