



# Usos de modelos hidrológicos para el cálculo del caudal ecológico del río Jequetepeque, aguas arriba de la presa “Gallito Ciego”, Perú

## Use of hydrological models to calculate the ecological flow of the Jequetepeque river, upstream of the Gallito Ciego dam, Peru

Jairo Isaí Alvarez Villanueva<sup>1\*</sup>; José Francisco Huamán Vidaurre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Recursos Hídricos, Av. Atahualpa km. 3, Ciudad universitaria, Cajamarca, Perú.

\* Autor correspondiente: [jjalvarezv@unc.edu.pe](mailto:jjalvarezv@unc.edu.pe) (J. I. Alvarez Villanueva).

ORCID de los autores:

J. I. Alvarez Villanueva: <https://orcid.org/0000-0001-8777-3943>

J. F. Huamán Vidaurre: <https://orcid.org/0000-0002-4896-0479>

### RESUMEN

La investigación permitió usar modelos hidrológicos para el cálculo del caudal ecológico del río “Jequetepeque”, aguas arriba de la presa “Gallito Ciego”, Perú. Se usó información de caudales medios mensuales, la cual se dividió en dos periodos (1943-1987) y (1988-2019). Para el cálculo de caudal ecológico, se usó de siete métodos hidrológicos. Para el período 1943-1987, el caudal ecológico se calculó mediante el método de establecimiento de porcentajes ( $0,47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), seguido del método de Tennant ( $0,57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). Para el período 1988-2019, el caudal ecológico se calculó mediante el método de establecimiento de porcentajes ( $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), seguido del método de Tennant ( $0,59 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). Con el análisis de varianza de un factor se comparó y verificó diferencias significativas entre el caudal ecológico calculado por los métodos indicados y el caudal mínimo de estiaje tomado como línea base de comparación. Con la prueba de Tukey, se verificó que el caudal ecológico estimado por el método hidrológico de establecimiento de porcentajes del período (1943-1987) y (1988-2019) no presentó diferencias significativas con respecto al caudal mínimo de estiaje. Se concluye que, el caudal ecológico de río “Jequetepeque” aguas arriba de la presa “Gallito Ciego” es de  $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , obtenido mediante el método establecimiento de porcentajes.

**Palabras clave:** caudal ecológico; métodos hidrológicos; río Jequetepeque; estación hidrométrica Yonán.

### ABSTRACT

The research allowed to use of hydrological models for the calculation of the ecological flow of the “Jequetepeque” river, upstream of the “Gallito Ciego” dam, Peru. Information on average monthly flows was used, which was divided into two periods (1943-1987) and (1988-2019). To calculate ecological flow, seven hydrological methods were used. For the period 1943-1987, the ecological flow was calculated with the percentage establishment method ( $0.47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), followed by the Tennant method ( $0.57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). The period of 1988-2019, the ecological flow was calculated with the percentage establishment method ( $0.36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), followed of the Tennant method ( $0.59 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). The analysis of variance of one factor, significant differences were compared and verified between the ecological flow calculated of the indicated methods and the minimum low-water flow taken as a baseline for comparison. With the Tukey test, it was verified that the ecological flow estimated of the hydrological method of establishing percentages for the period (1943-1987) and (1988-2019), it did not present significant differences with respect to the minimum low-water flow. It concluded that the ecological flow of the “Jequetepeque” river upstream of the “Gallito Ciego” dam is  $0.36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , it obtained through the percentage establishment method.

**Keywords:** ecological flow; hydrological methods; Jequetepeque river; Yonan hydrometric station.

Recibido: 28-12-2023.  
Aceptado: 13-05-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

El régimen hidrológico de caudales de los ríos, son regulados por las cuencas, esto permite mantener caudales en tiempo y espacio (Hernández-Guzmán et al., 2019). Asimismo, el cambio climático afecta a la regulación de los caudales de los ríos de mundo (Patil et al., 2022). Los ríos están sufriendo cambios en su régimen hidrológico durante los últimos 100 años (Meza-Rodríguez et al., 2017). Las condiciones hidrológicas actualmente presentan cambios, como: disminución de agua dulce para el medio ambiente, lo cual ha generado la implementación de medidas para estimar caudales ecológicos en los próximos 10 años (Mobilia et al., 2023). Para conservar los ecosistemas acuáticos del mundo, es necesario conservar caudales mínimos (Modi et al., 2022). En la actualidad hay diferentes definiciones para relacionar al caudal ecológico, estos son: caudal ambiental, caudal de mantenimiento, caudal mínimo, caudal recomendado, caudal reservado, caudal regulado, caudal ecológico y régimen de caudales aceptables (Palau, 2004; Pizarro, 2004). El caudal ecológico permite dar funcionamiento a ecosistemas fluviales, por tanto, estimar el caudal ecológico en ríos de escurrentía perenne, permite mantener ecosistemas acuáticos saludables (Santacruz De León, 2010). Este caudal es constante en ríos y está relacionado con periodos secos y caudales mínimos (Liu et al., 2023), y es utilizado para establecer límites que condicionan la vida acuática fluvial (Palau, 2004). El término caudal ecológico, es utilizado para establecer un régimen hidrológico de agua dulce en una cuenca en el tiempo, y está relacionado con el sostenimiento de ríos, estuarios, medios de subsistencia y bienestar humano (Acreman, 2016; De la Lanza Espino et al.,

2014). El caudal mencionado no solo permite proteger y conservar vida en eco-sistemas fluviales de agua dulce, también brinda agua para consumo humano (Liu et al., 2023). Según Liu et al. (2023) el caudal ecológico se divide en caudal ecológico básico (caudal mínimo para cubrir las necesidades básicas de los ecosistemas acuáticos) y caudal ecológico apto (construye hábitats en ríos). Este caudal sirve como instrumento a la gestión del recurso hídrico y a los cambios de política de cada país. Además, representa las reservas de agua dulce y son utilizados para un buen manejo del recurso hídrico en cuencas (Opperman et al., 2018; Salinas-Rodríguez et al., 2018; Gallo-Vélez, 2016). Para estimar el caudal ecológico mediante el método hidrológico, se recomiendan utilizar un régimen hidrológico de caudal natural a una escala mensual (Alcázar & Palau, 2010; Meng et al., 2023). Existen más de 200 métodos para estimar el caudal ecológico, pero no existe un método ideal. Los métodos más conocidos son el método hidrológico, método hidráulico, método de simulación de hábitat y el método de análisis integrado. El método hidrológico es antiguo, rápido y sencillo. Este modelo es útil para evaluar preliminarmente el caudal ecológico (Yu et al., 2021). El enfoque del caudal ecológico es proteger y restaurar los servicios ecosistémicos acuáticos, el ecosistema acuático y la vida silvestre acuática mediante un régimen de flujo de agua dulce (Taniguchi-Quan et al., 2022). El objetivo de esta investigación fue utilizar métodos hidrológicos para estimar el caudal ecológico del río Jequetepeque - tramo Yonán, aguas arriba de la presa "Gallito Ciego", en la cuenca alta del Jequetepeque, Perú.

## METODOLOGÍA

### a) Ubicación

La zona de estudio se ubica al norte del territorio peruano, provincia de Contumazá, distrito de Yonán, Región de Cajamarca, Perú. El régimen hidrológico de caudales aguas arriba de la presa Gallito ciego es natural, estas aguas fluyen por la vertiente del Pacífico y forman parte del volumen del embalse Gallito Ciego, utilizadas para fines energéticos y riego. El punto emisor para la delimitación de la cuenca fue la estación hidrométrica "Yonán", ubicada en la parte media baja de la cuenca del Jequetepeque, en las coordenadas Latitud 07° 15' 21,30" Longitud 79° 5' 56,70" a una altitud 457 m.s.n.m. La estación hidrométrica "Yonán", está instalada en el cauce del río "Jequetepeque" - tramo "Yonán", la cual es la única estación de medición de caudal de la cuenca alta del Jequetepeque, ver Figura 1.

### b) Información de caudales mensuales

Para estimar el caudal ecológico, se requiere caudales mensuales (Tare et al., 2017; Modi et al., 2022). La investigación utilizó información de caudales mensuales del período 1943-2019, proporcionado por el Proyecto Especial Jequetepeque Zaña (PEJEZA). Para estimar el caudal ecológico del tramo de río "Yonán" del río Jequetepeque, se analizó los registros históricos de caudales mensuales expresados en  $m^3s^{-1}$ , de dos estaciones hidrométricas, presentados en la Tabla 1. Se tuvo en cuenta la normativa peruana, la cual señala que para la estimación del caudal ecológico se necesita una data histórica de 20 años. Asimismo, se contó con los caudales ecológicos propuesto por el consejo de cuenca "Jequetepeque -Zaña, presentados según la Resolución Directoral (R.D) N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V.

**Tabla 1**  
Ubicación de estaciones hidrométricas de estudio

Estación hidrométrica	Período	Coordenadas		Altura
		Latitud	Longitud	(m.s.n.m)
Ventanillas	1943-1987	7° 14'	79° 13'	252
Yonán	1988-2019	7° 15'	79° 6'	457

### c) Procesamiento de información

Se analizó la información procedente de las estaciones hidrométricas "Ventanillas" (1943-1987) y "Yonán" (1988-2019) (Tabla 1), para determinar posibles saltos. En esta fase, se identificó información de caudales necesarios para ser aplicados en los modelos hidrológicos descritos en la Tabla 2. Esta información corresponde a: caudal medio anual, caudal medio mensual, caudal promedio de años críticos, caudal excedido a 347 días, caudal al 90% de persistencia y para la construcción de curva de permanencia de caudales.

### d) Caudales interanuales de los períodos 1943-1987 y 1988-2019

De los caudales mensuales se obtuvo los promedios interanuales, estos fueron presentados mediante gráficos. Lo cual permitió verificar la tendencia de las fluctuaciones de los caudales mensuales del río Jequetepeque, tanto para la estación hidrométrica "Ventanillas" del período 1943-1987, y la estación hidrométrica "Yonán" del período 1988-2019.

### e) Estiaje de períodos 1943-1987 y 1988-2019

Se logró identificar los meses de estiaje, siguiendo la metodología de (Balocchi et al., 2014). Esta información fue procesada mediante el RStudio Cloud, para los períodos 1943-1987 y 1988-2019.

### f) Identificación de peces

Con ayuda de pescadores de la zona del distrito de "Yonán" y el uso de ataraya, se identificaron peces en el río "Jequetepeque" - tramo "Yonán", en época de estiaje (julio a septiembre) (Figura 2 y Figura 3).

### g) Identificación del caudal mínimo de los períodos 1943-1987 y 1988-2019

Al establecer los meses de estiaje y con información de caudales libre de saltos, se procedió a identificar

el caudal mínimo de los caudales mensuales de períodos 1943-2019. Tanto el caudal mínimo y el caudal ecológico promedio de estiaje planteado según R.D N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V, son la línea base de comparación para elegir al caudal ecológico del río Jequetepeque - tramo "Yonán".

### h) Aplicación de modelos hidrológicos

La biodiversidad de hábitats de los ríos del mundo, existen gracias a un caudal capaz de mantenerlos y protegerlos (Acreman & Dunbar, 2004). Según Yang et al. (2012), los métodos hidrológicos estiman el caudal ecológico en base a un registro de datos hidrométricos. Los modelos mencionados por Yupa et al. (2020), Brown et al. (2016), Alata (2020) y Yupa et al. (2020) (Tabla 2) fueron aplicados para los períodos 1943-1987 y 1988-2019, para estimar el caudal ecológico.

### i) Comparación de resultados

La comparación de los resultados obtenidos de los siete modelos hidrológicos fue a partir de hidrogramas y análisis estadísticos. Los hidrogramas permitieron determinar la cercanía o lejanía del resultado del caudal ecológico del río "Jequetepeque" - tramo "Yonán", con respecto al caudal mínimo de los meses de estiaje del mismo río. Cabe señalar que este último caudal, representa la línea base de comparación. Para el análisis estadístico, se utilizó la prueba estadística de análisis de varianza y la prueba de Tukey, con la finalidad de establecer la existencia o no de diferencias significativas entre los resultados de los siete (7) metodologías hidrológicas, el caudal mínimo mensual de estiaje (la línea base de comparación) y el caudal ecológico promedio de estiaje según la R.D - N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V ( $0,26 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).



Figura 2. Localización de la cuenca alta del Jequetepeque

**Tabla 2**  
Modelos hidrológicos de estimación de caudal ecológico

Método	Fórmula	Descripción
Suizo	$Q_{374} = (a_0 * Q_m)/10$	Q374: es el caudal excedido a 347 días, Qm es el caudal interanual, a0: coeficiente de valores 0,5; 1,0; 1,5 y 1,8. Qe: caudal ecológico. Ver Tabla 3.
Asturiano	$Q_E = 50 \text{ Ls}^{-1}$ $Q_E = (0.35 * Q_{347}) \text{ Ls}^{-1}$ $Q_E = \left[ \frac{15 * Q_{347}}{(\ln Q_{347})^2} \right] \text{ Ls}^{-1}$ $Q_E = (0.25 * Q_{347} + 75) \text{ Ls}^{-1}$	El caudal ecológico, se seleccionará al mayor valor de los resultados de las Fórmulas 2, 3, 4, 5. Donde: Q347: es el caudal excedido a 347 días.
Curva de permanencia	$Q_E = \left( \frac{5}{100} \right) * Q_{90\%}$	Q90%: representa el caudal de permanencia al 90%, obtenido de la curva de duración de caudales; QE: es el caudal ecológico.
5% del promedio anual	$QE = 5\% * Q_m$	Donde: Qm=es el caudal medio anual del registro de caudales.
Normatividad peruana	-Caudal al 95% de persistencia -Establecimiento de porcentajes	Según RJ. N°154-2016-ANA: 15 del mes de junio de 2016. Según la RJ N° 267-2019-ANA: 5 de diciembre de 2019
Tennant (1976) o de Montana	$Q_{E(10\%)} = 0,10 * Q_m$ $Q_{E(30\%)} = 0,30 * Q_m$ $Q_{E(60\%)} = 0,60 * Q_m$	QE (10%): caudal mínimo que, garantiza la vida en la mayoría de especies acuáticas. QE (30%): caudal que, garantiza mantener con vida a una diversidad de especies acuáticas. QE (60%): caudal que, garantiza las condiciones del medio para la vida de diversas formas de especies acuáticas.

**Tabla 1**  
Modelos de estimación de caudal, según la legislación suiza

Tipo cauce según uso de agua	$Q_{347} \text{ [Ls}^{-1}\text{]}$	$Q_e \text{ [Ls}^{-1}\text{]}$
No piscícolas	[0 - 1000]	$0,35 * Q_{347}$
Piscícolas	[0 - 60]	50
	[60 - 160]	$[50 + 0,8 * (Q_{347} - 50)]$
	[160]	130
	[160 - 500]	$[130 + 0,44 * (Q_{347} - 160)]$
	500	280
	[500 - 2500]	$[280 + 0,31 * (Q_{347} - 500)]$
	2500	900
	[2500 - 10000]	$[900 + 0,2131 * (Q_{347} - 2500)]$
	10000	2500
	[10000 - 60000]	$[21500 + 0,15 * (Q_{347} - 10000)]$
60000	10000	

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El río “Jequetepeque” - tramo “Yonán” (Figura 2), no está regulado por ninguna estructura hidráulica. Este río cuenta con información de caudales en las estaciones hidrométricas “Yonán” y “ventanillas”, y son las únicas estaciones hidrométricas que registraron los caudales superficiales de la cuenca alta del “Jequetepeque” del periodo 1943-2019. No fue necesario completar o corregir la información de caudales, ya que mostró longitud y calidad de información. Del tramo en estudio (Figura 2), se

logró identificar diferentes especies de peces en épocas de estiaje (julio a septiembre) (Figura 3), tales como: Tilapia (*Oreochromis niloticus*), Cascafe (*Brycon atrocaudatus*) y Carachamas (*Pseudorinelepis genibarbis*) y life (*Trichomycterus punctulatus*). Los pescadores de la zona señalaron que existen otras variedades en el tramo de estudio, tales como: Mojarra (*Aequidens rivulatus*), Picalon (*Rhambia Xejepeque*, Ecamaron).



**Figura 2.** Río “Jequetepeque”, tramo Yonán, Distrito de “Yonán”, Cajamarca, Perú.



Figura 3. Captura de peces en el río Jequetepeque –tramo "Yonán", Cajamarca.

La Figura 4 muestra una tendencia de decremento de caudales del río en estudio. Mientras que la Figura 5, muestra una tendencia leve de incremento. En la Figura 4 se observan los caudales promedios interanuales de la estación hidrométrica "Ventanillas" (promedio interanual igual a 25,63 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, los cuales son menores los caudales promedios interanuales registrados por la estación hidrométrica "Yonán" (promedio interanual igual a 27,82 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>). Esto evidencia que el caudal del río Jequetepeque ha sufrido cambios en su régimen de caudales por alteraciones climáticas en la zona alta de estudio. La

regulación de los caudales durante todo el año se genera por las propias características de la cuenca (topográficas, geológicas, climáticas, etc.). El caudal mínimo mensual de estiaje para el período 1943-1987, fue de 0,41 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Y el caudal mínimo mensual de estiaje identificado en la Figura 7, para el período 1988-2019, fue de 0,35 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, se evidenció un leve descenso del caudal mínimo de estiaje en el período 1988-2019. Mientras que el promedio mínimo de estiaje para el periodo 1943-1987 es 1,02 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> y para el periodo 1988-2019 es de 1,61 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, ver Figura 6 y 7.

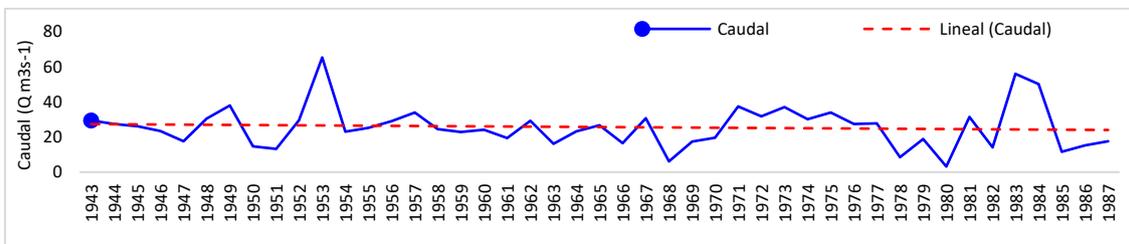


Figura 4. Caudales interanuales del río Jequetepeque, período 1943-1987.

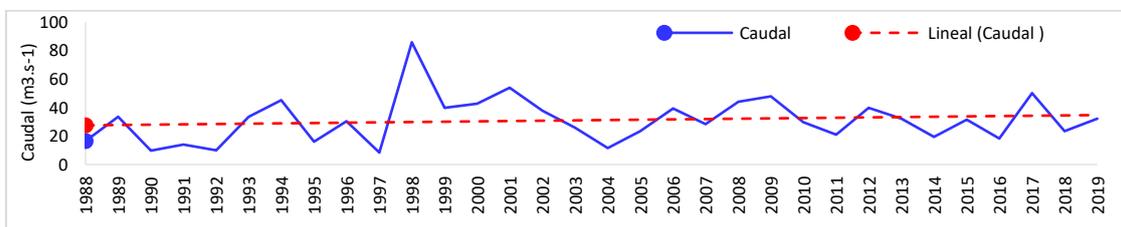


Figura 5. Caudales interanuales del río Jequetepeque, período 1988-2019.

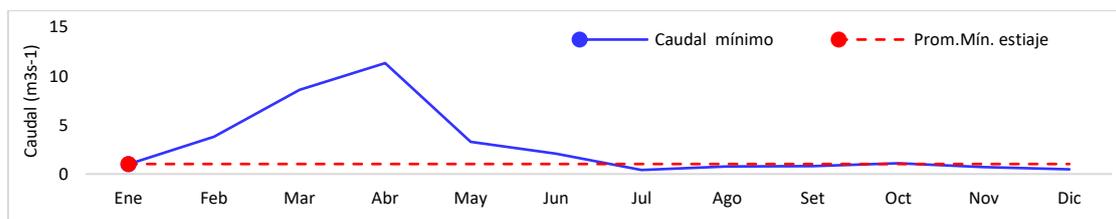


Figura6. Caudales medios mensuales mínimos del período 1943-1987.

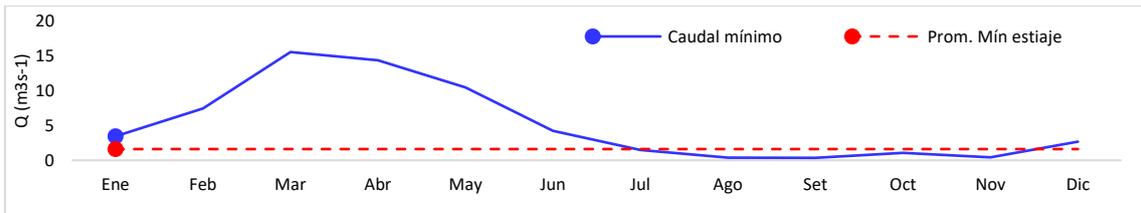


Figura 7. Caudales medios mensuales mínimos del período 1988-2019.

Se aplicaron 7 métodos hidrológicos para estimar el caudal ecológico, para los períodos 1943-1987 y 1988-2019. El caudal ecológico para el período 1988-2019 fueron: suizo (1,19 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), escocés (0,27 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), 5% del promedio anual (1,28 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), austriaco (1,35 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), curva de permanencia (0,11 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), establecimiento de porcentajes (0,47 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), y Tennant (0,57 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>). Mientras que para el período 1988-2019, los caudales ecológicos fueron: suizo (1,56 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), escocés (0,12 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), 5% del promedio anual (1,55 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), austriaco (1,96 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), curva de permanencia (0,09 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), establecimiento de porcentajes (0,36 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), y Tennant (0,59 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>).

En la Figura 8 se comparan los métodos hidrológicos estudiados para el periodo 1988-2019, con respecto del caudal mínimo mensual (0,41 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) y el promedio de caudal ecológico de los meses de estiaje según la R.D - N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V (0,26 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>). En este período, el menor valor de caudal ecológico estimado mediante el método de establecimiento de porcentajes (15% del caudal medio mensual) es igual a 0,47 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> y es mayor al caudal ecológico promedio mensual de estiaje de la R.D - N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V (0,26 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) y próximo al caudal mínimo mensual de estiaje (0,41 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) para

el período 1943-1987. En segundo lugar, el método de Tennant (estimo un valor igual a 0,57 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, el cual sobre estima tanto al caudal ecológico promedio de los meses de estiaje planteado en la R.D - N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V (0,26 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), como al caudal mínimo mensual de estiaje (0,41 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>).

En la Figura 9, se compara los métodos hidrológicos estudiados para el periodo 1988-2019, con respecto del caudal mínimo mensual (0,35 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) y el promedio de caudal ecológico de los meses de estiaje según la R.D - N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V (0,26 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>). En este período, el menor valor de caudal ecológico estimado mediante el método de establecimiento de porcentajes (15% del caudal medio mensual) es igual a 0,36 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) y es mayor al caudal ecológico promedio mensual de estiaje de la R.D - N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V (0,26 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) y próximo al caudal mínimo mensual de estiaje (0,35 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) para el período 1943-1987. En segundo lugar, el método de Tennant (estimo un valor igual a 0,59 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, el cual sobre estima tanto al caudal ecológico promedio de los meses de estiaje planteado en la R.D - N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V (0,26 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), como al caudal mínimo mensual de estiaje (0,35 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>).

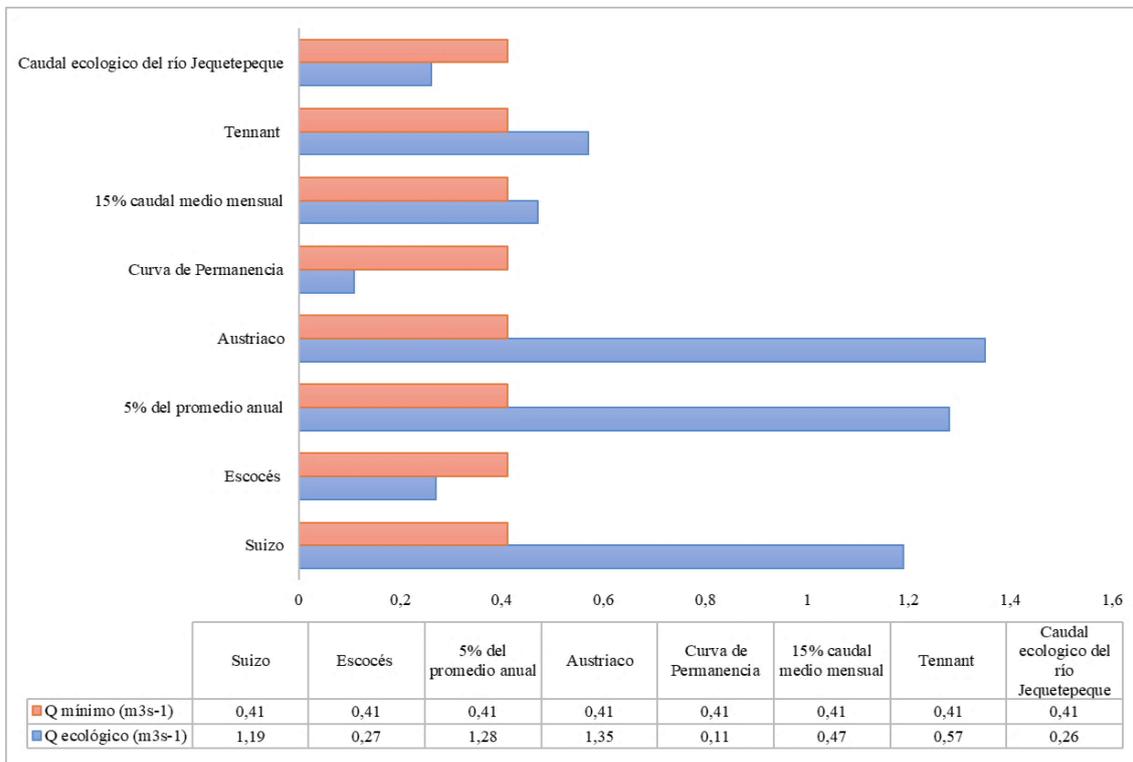


Figura 8. Resultados de caudal ecológico por métodos hidrológicos. Período 1943-1987.

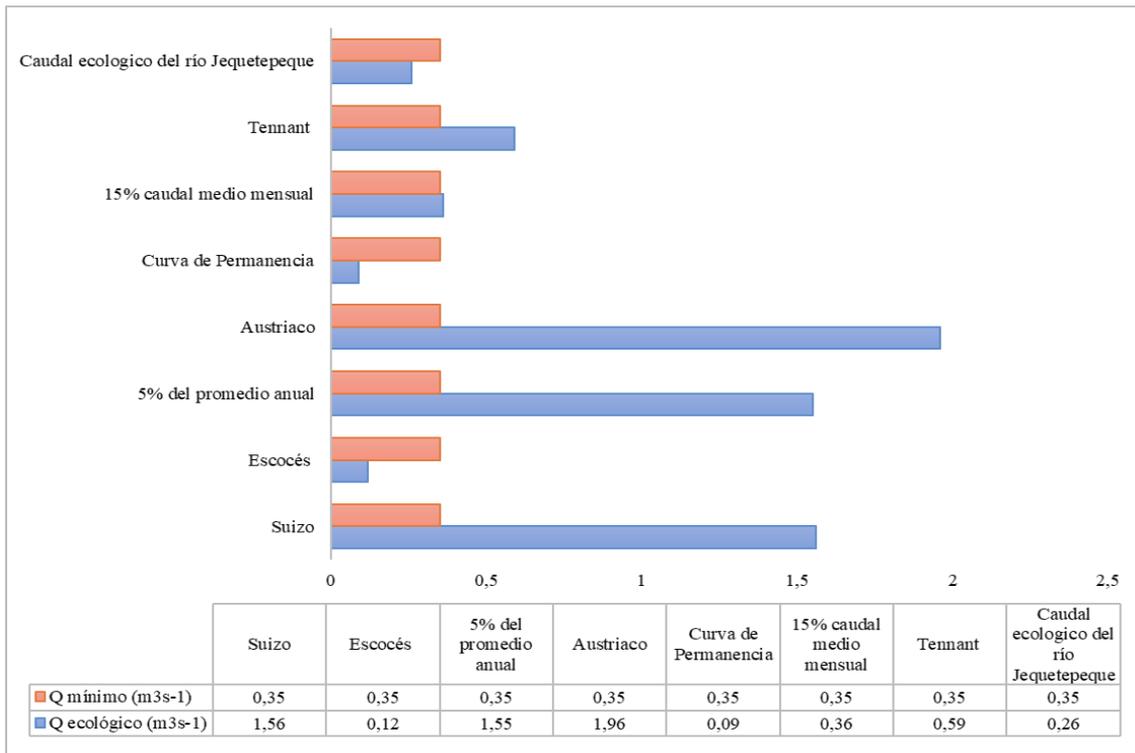


Figura 9. Resultados de caudal ecológico por métodos hidrológicos. Período 1988-2019.

Mediante el análisis de varianzas de un factor, se demostró que existen diferencias significativas con un 5% de nivel de significancia, entre los resultados del caudal ecológico estimados por los siete (7) métodos hidrológicos del período 1943-2019. Además, el estadístico de Tukey para el período 1943-2019, demostró que entre el caudal ecológico estimado por el método de establecimiento de porcentajes  $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  del periodo señalado y el caudal mínimo mensual de estiaje  $0,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , no existe diferencias significativas. Por lo tanto, se toma a este método como estimador del caudal ecológico para la zona de estudio.

La Tabla 4 muestra los valores de caudal ecológico de distribución mensual para los meses de estiaje (junio-septiembre) para los periodos 1943-1987 y 1988-2019, los cuales fueron obtenidos mediante método de establecimiento de porcentajes (15% de caudal medio mensual). Se observa que el menor

caudal ecológico para el periodo 1943-1987 es de  $0,47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Mientras que para el periodo 1988-2019, el mínimo valor de caudal ecológico es de  $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Es importante conservar un régimen de caudales ecológicos en los ríos del mundo, ya que permitirá conservar diferentes ecosistemas fluviales saludables y monitorear el proceso adaptativo de diferentes ecosistemas acuáticos (Modi et al., 2022; Prakasam & Saravanan, 2022; Mahapatra & Kumar Jha, 2022; De la Lanza Espino et al., 2014; Goschke & Dreisbach, 2008). Asimismo, estas aguas garantizan la seguridad alimentaria Ilbay-Yupa et al. (2021). Estos caudales cumplen la función de reserva de agua dulce, y permite dar un mejor manejo hídrico de las cuencas (Salinas-Rodríguez et al., 2018). Meza-Rodríguez et al. (2017) señalan que, el caudal ecológico también está relacionado con el desarrollo económico y social de una zona.

Tabla 4

Propuesta de régimen de caudal ecológico a escala mensual, para el río "Jequetepeque"- tramo "Yonán"

Meses	Caudal medio mensual (Q) $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ (1943-1986)	Caudal medio mensual (Q) $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ (1987-2019)	Caudal mínimo mensual (Q) $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ (1943-2019)	Caudal ecológico (Q) $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ (método de establecimiento de porcentajes)	
				(1943-1987)	(1988-2019)
Ene	25,33	29,40	3,5	3,80	4,41
Feb	52,46	66,22	3,5	7,87	9,93
Mar	83,78	111,97	3,5	12,57	16,80
Abr	65,17	76,49	3,5	9,78	11,47
May	26,03	29,57	3,5	3,91	4,43
Jun	10,58	11,76	3,5	1,59	1,76
Jul	5,24	5,43	3,5	0,79	0,81
Ago	3,29	2,39	3,5	0,49	0,36
Sep	3,12	2,56	3,5	0,47	0,38
Oct	7,56	6,26	3,5	1,13	0,94
Nov	10,37	12,05	3,5	1,56	1,81
Dic	13,40	18,72	3,5	2,01	2,81

El tramo "Yonán" del río Jequetepeque no está regulado por una estructura hidráulica. En dicho tramo, presentan variaciones en el régimen hidrológico de caudales, ya que están influenciados por las características climáticas, topográficas y geológicas de la cuenca alta. Estos generan variaciones en los caudales de los meses de estiaje (junio, julio, agosto y septiembre) del río en estudio, cuya escorrentía es de tipo perenne. Esta característica, hace que exista una extensa información de caudales, desde 1943 a la fecha. Haciendo posible la estimación del caudal ecológico Según Mahapatra & Kumar Jha (2022) indican que el caudal ecológico es complicado estimar en ríos con características de escasez de agua y en ríos regulados por una estructura hidráulica. Meza-Rodríguez et al. (2017) señalan que, una de las limitaciones para calcular el caudal ecológico mediante el método hidrológico es no contar con datos de un régimen de caudales continuos y no utilizar información ecológica. Por otro lado, Baeza (2017) señala que, a la fecha no existe una metodología hidrológica ideal para cada realidad de ríos de la sierra, costa y selva. Si bien esta investigación no utilizó información socioeconómica y biológica. La metodología hidrológica es una alternativa para conocer el caudal ecológico de un río. Yu et al. (2021) señalan que este método es rápido y sencillo de uso, el cual permite realizar evaluaciones preliminares de un caudal ecológico. Actualmente, existen otros métodos para estimar el caudal ecológicos. Según Alcázar & Palau (2010) señalan que menos investigadores utilizan la metodología de simulación de hábitats o el enfoque holístico, por ser muy costoso en su aplicación, pero, sobre todo, por no contar con una gran cantidad de información hidrológica, biológica y experiencias interdisciplinarias en diferentes países.

La normativa peruana establece metodologías y obliga a establecer un volumen de agua de caudal ecológico en los ríos. Esto se logrará si se conoce el potencial hídrico de una cuenca. La Tabla 4 presenta un régimen de caudal ecológico para el río Jequetepeque - tramo "Yonán" para los periodos 1943-1987 y 1988-2019. Además, en dichos periodos, se observa una variación en el régimen de caudales medios mensuales. Demostrando que el régimen de caudal ecológico, esta propenso a sufrir cambios en el tiempo, y que una normativa no garantiza la salud en los ecosistemas acuáticos. Meza-Rodríguez et al. (2017) señalan que la aplicación de la Norma para establecer un caudal ecológico bajo un régimen natural no garantiza el funcionamiento de un sistema lótico frente al cambio climático. Coincidiendo con Mahapatra & Kumar Jha (2022), quienes señalan que el volumen del caudal mínimo no contrarresta la alteración de un río sobre la biodiversidad acuática.

El caudal ecológico propuesto para río Jequetepeque - tramo "Yonán", para el período 1943-2019 es  $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Este caudal resultó ser mayor al caudal promedio de meses de estiaje planteado en la R.D - N°

2286-2018-ANA-AAA JZ-V ( $0,26 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) y al caudal mensual mínimo de estiaje observado ( $0,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). Este último caudal según Acreman et al. (2014) representa la línea base del régimen natural de caudales. Asimismo, según Liu et al. (2023) el caudal mínimo o caudal ecológico básico, permite cubrir necesidades básicas de los ecosistemas acuáticos. Someter al río con un caudal ecológico de  $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de forma continua en los meses de estiaje, no generaría impactos drásticos y no alteraría a la población acuática. Esto denota que el método contribuiría a la preservación y protección de vida silvestre acuática para los meses de estiaje. En la investigación y según Liu et al. (2023) el caudal ecológico apto, corresponde al valor de  $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , el cual permite construir hábitats en ríos, por ser un caudal constante en épocas de estiaje. En la investigación de Yupa et al. (2020), el valor del caudal ecológico fue mayor al caudal mínimo observado. Señalaron que, si mantenemos esta condición, es posible mantener la sobrevivencia de vida acuática. Según Meza-Rodríguez et al. (2017), señalan que, si el caudal ecológico se encuentra por debajo del caudal mínimo o límite del área de desarrollo del ecosistema acuático, no es posible crear las condiciones para la biodiversidad acuáticas. Santa Cruz & León (2009) indicaron que el caudal ecológico no debería ser el mismo que el caudal mínimo, debe ser similar al caudal mínimo.

Se propone fijar en el río de estudio un caudal ecológico constante de  $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de distribución mensual para el periodo 1943-2019 de forma restrictiva para uso de protección sobre las especies acuáticas. Esta selección se basa en la proximidad del caudal ecológico ( $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) al caudal mínimo mensual de estiaje ( $0,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), y por formar parte del régimen de caudal ecológico de distribución mensual en los meses de estiaje (Tabla 4). El caudal mínimo mensual de estiaje, representa la línea base del régimen natural del río en estiaje, para el acondicionamiento de especies acuáticas. Es decir, el volumen de agua de distribución mensual propuesto ( $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) garantiza vida sobre las especies objetivo del río "Jequetepeque" - tramo "Yonán", tales como la Tilapia: *Oreochromis Niloticus*, Cascafe: *Brycon Atrocaudatus*, Mojarra: *Aequidens Rivulatus*, Picalon: *Rhombia Xejetepeque* (Ecamaron), Life: *Trichomycterus Punctulatus*, Carachamas: *Pseudorinelepis*. Estas especies son dependientes de las características climáticas de la zona alta de la cuenca Jequetepeque y son vulnerables a sufrir variaciones por cambio climático. Sin embargo, según González del Tánago (2005) las diferentes especies de ecosistemas fluviales evolucionan según el contexto del régimen fluvial al cual es sometido, es decir, los ciclos de vida de dichas especies se adaptan a las variaciones estacionales y a los requerimientos de alimentación. Por tanto, estos ecosistemas lograrán adaptarse a caudales mínimos de períodos de estiaje prolongados.

## CONCLUSIONES

El cambio en el régimen hidrológico de caudales del río Jequetepeque, está influenciado por las precipitaciones de la cuenca alta de estudio y al

cambio climático. Los meses de junio, julio, agosto y septiembre corresponden a los meses de estiaje. El caudal mínimo de estiaje para el período 1943-

1987, es  $0,41 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , y para el período 1988-2019 es  $0,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Ambos valores corresponden al límite del área de desarrollo de la fauna y flora fluvial del río “Jequetepeque” – tramo “Yonán”. El método de establecimiento de porcentajes es el primer método estimador de caudal ecológico para el río “Jequetepeque” - tramo “Yonán”, seguido del método de Tennat. El caudal ecológico propuesto a partir del método de establecimiento de porcentajes es  $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , el cual es mayor al caudal ecológico promedio planteado por la R.D N° 2286-2018-ANA-AAA JZ-V ( $0,26 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). Además, es próximo al caudal mínimo de los meses de estiaje del período 1943-2019 ( $0,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). Por tanto, someter al río Jequetepeque - tramo “Yonán” con

un caudal ecológico de  $0,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de forma continua contribuiría a la conservación y protección de vida silvestre acuática y no generaría impactos negativos en la población acuática en meses de estiaje. Por otro lado, someter al río Jequetepeque con un caudal ecológico de  $0,26 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de forma continua, generaría impactos drásticos y alteraría a la población acuática.

Se recomienda utilizar otras metodologías para calcular el caudal ecológico en el río de estudio, tal como, el Sistema de Simulación de Habitación Físico, ya que esta metodología permite observar las variaciones de caudal y la morfología del cauce entre otros.

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Proyecto Especial Jequetepeque Zaña (PEJEZA), por haber proporcionado

información de caudales mensuales del periodo 1943-2019, para la realización de la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acreman, M., Arthington, A. H., Colloff, M. J., Couch, C., Crossman, N. D., Dyer, F., Overton, I., Pollino, C. A., Stewardson, M. J., & Young, W. (2014). Environmental flows for natural, hybrid, and novel riverine ecosystems in a changing world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(8), 466–473. <https://doi.org/10.1890/130134>
- Acreman, M. (2016). Environmental flows—basics for novices. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(5), 622–628. <https://doi.org/10.1002/wat2.1160>
- Acreman, M., & Dunbar, M. J. (2004). Defining environmental river flow requirements - A review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(5), 861–876. <https://doi.org/10.5194/HESS-8-861-2004>
- Alcázar, J., & Palau, A. (2010). Establishing environmental flow regimes in a Mediterranean watershed based on a regional classification. *Journal of Hydrology*, 388(1–2), 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.026>
- Baeza, E. (2017). Determinación y gestión de caudales ecológicos: conceptos y experiencia extranjera. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Brown, O., Gallardo Ballat, Y., Williams Harriote, P. W., & Torres Martínez, Y. (2016). Caudal ecológico del río Chabmas en la provincia Ciego de Ávila. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 58–71.
- Balocchi, F., Pizarro, R., Morales, C., De Correspondencia, A., & Olivares, C. (2014). Modelamiento matemático de caudales recesivos en la región mediterránea andina del Maule: el caso del estero Upeo, Chile. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 5(5), 179–188.
- De la Lanza Espino, G., Salinas Rodríguez, S. A., & Carbajal Pérez, J. L. (2014). Cálculo del flujo ambiental como sustento para la reserva de agua al ambiente del río Piaxtla, Sinaloa, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, 0(0), 25–38. <https://doi.org/10.14350/rig.35269>
- Gallo-Vélez, D. (2016). Consideraciones para la aplicación del método hidráulico R2CROSS para estimar caudales ecológicos en Colombia. *Intropica*, 11, 111. <https://doi.org/10.21676/23897864.1867>
- Goschke, T., & Dreisbach, G. (2008). Conflict-triggered goal shielding: Response conflicts attenuate background monitoring for prospective memory cues. *Psychological Science*, 19(1), 25–32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02042.x>
- González del Tánago, M. & D. G. de J. (2005). Hierarchical Classification of Rivers: A proposal for eco-geomorphic characterization of Spanish rivers within the European Water Frame Directive. *Limnetica*, 25(3).
- Hernández-Guzmán, R., Ruiz-Luna, A., & Cervantes-Escobar, A. (2019). Environmental flow assessment for rivers feeding a coastal wetland complex in the Pacific coast of northwest Mexico. *Water and Environment Journal*, 33(4), 536–546. <https://doi.org/10.1111/wej.12423>
- Ilbay-Yupa, M., García-Mora, M., & Llugsha, N. (2021). Ecological Flow to Protect Aquatic Resources on the Cebadas River, Chambo River Basin. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of* *S.T.E.A.M.* <https://doi.org/10.18502/ESPOCH.V11I1.9550>
- Alata, J. E. (2020). Determinación del caudal ecológico en centrales hidroeléctricas del Perú, aplicación a un caso típico. *Anales Científicos*, 81(1), 204–219. <https://doi.org/10.21704/AC.V81I1.1630>
- Liu, D., Xie, J., Zuo, G., & Liang, J. (2023). Adaptive calculation of river ecological flow considering the variable lifting volume under changing conditions. *Hydrology Research*, 54(10), 1267–1280. <https://doi.org/10.2166/NH.2023.187>
- Mahapatra, S., & Kumar Jha, M. (2022). Environmental flow estimation for regulated rivers under data-scarce condition. *Journal of Hydrology*, 614, Part B, 128569. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128569>
- Meng, Y., Xu, W., Guan, X., Guo, M., Wang, X., & Yan, D. (2023). Ecology-habitat-flow modular simulation model for the recommendation of river ecological flow combination. *Environmental Modelling & Software*, 169, 105823. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105823>
- Meza-Rodríguez, D., Martínez-Rivera, L. M., Mercado-Silva, N., de Jalón-Lastra, D. G., del Tánago-Del Rio, M. G., Marchamalo-Sacristán, M., & de la Mora-Orozco, C. (2017). Propuesta de caudal ecológico en la cuenca del Río Ayuquila-Armería en el Occidente de México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(5), 1017–1030. <https://doi.org/10.3856/VOL45-ISSUE5-FULLTEXT-17>
- Mobilia, M., Longobardi, A., Amitrano, D., & Ruello, G. (2023). Land use and damaging hydrological events temporal changes in the Sarno River basin: potential for green technologies mitigation by remote sensing analysis. *Hydrology Research*, 54(3), 277–302. <https://doi.org/10.2166/NH.2023.036>
- Modi, A., Tare, V., & Sharma, D. (2022). Hydro-Energy Potential Assessment in the Context of E-Flows for Himalayan Upland Rivers. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(8), 304. <https://doi.org/10.1007/S11270-022-05788-2>
- Opperman, J. J., Kendy, E., Tharme, R. E., Warner, A. T., Barrios, E., & Richter, B. D. (2018). A three-level framework for assessing and implementing environmental flows. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 76. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00076>
- Palau, A. (2004). *Hispagua. OP28. Los mal llamados caudales “ecológicos.”* [https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua\\_articulo/op28/op28.8.htm](https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/op28/op28.8.htm)
- Patil, R., Wei, Y., Pullar, D., & Shulmeister, J. (2022). Sensitivity of streamflow patterns to river regulation and climate change and its implications for ecological and environmental management. *Journal of Environmental Management*, 319, 115680. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115680>
- Pizarro, F. (2004). Caudales Ambientales, GWP-CA. [http://observatoriaigua.uib.es/repositori/gf\\_caudales\\_pizarro.pdf](http://observatoriaigua.uib.es/repositori/gf_caudales_pizarro.pdf)
- Prakasam, C., & Saravanan, R. (2022). Ecological flow assessment using hydrological method and validation through GIS application. *Groundwater for Sustainable Development*, 19,

100841. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2022.100841>
- Santacruz de León, G., & Aguilar-Robledo, M. (2009). Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant. *Hidrobiológica*, 19(1), 25–32.
- Salinas-Rodríguez, S. A., Barrios-Ordóñez, J. E., Sánchez-Navarro, R., & Wickel, A. J. (2018). Environmental flows and water reserves: Principles, strategies, and contributions to water and conservation policies in Mexico. *River Research and Applications*, 34(8), 1057–1084. <https://doi.org/10.1002/RRA.3334>
- Santacruz De León, G. (2010). Variación Crono espacial de los Caudales Ecológicos en la Cuenca del Río Valles, México. *Aqua-LAC*, 2(1), 26–36. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2010-v2-1-03>
- Taniguchi-Quan, K. T., Irving, K., Stein, E. D., Poresky, A., Wildman, R. A., Aprahamian, A., Rivers, C., Sharp, G., Yarnell, S. M., & Feldman, J. R. (2022). Developing Ecological Flow Needs in a Highly Altered Region: Application of California Environmental Flows Framework in Southern California, USA. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 787631. <https://doi.org/10.3389/FENVS.2022.787631/BIBTEX>
- Tare, V., Gurjar, S. K., Mohanta, H., Kapoor, V., Modi, A., Mathur, R. P., & Sinha, R. (2017). Eco-geomorphological approach for environmental flows assessment in monsoon-driven highland rivers: A case study of Upper Ganga, India. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.005>
- Yang, F., Xia, Z., Yu, L., & Guo, L. (2012). Calculation and analysis of the instream ecological flow for the Irtysh River. *Procedia Engineering*, 28(2011), 438–441. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.747>
- Yu, L., Wu, X., Wu, S., Jia, B., Han, G., Xu, P., Dai, J., Zhang, Y., Wang, F., Yang, Q., & Zhou, Z. (2021). Multi-objective optimal operation of cascade hydropower plants considering ecological flow under different ecological conditions. *Journal of Hydrology*, 601, 126599. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126599>
- Yupa, M., Ilbay, Albarrasín, P., & García, V. M. (2020). Determinación de caudales ecológicos en el río Cutuchi, Ecuador. *Revista Bases de La Ciencia*, 5(2), 33–52. [https://doi.org/10.33936/REV\\_BAS\\_DE\\_LA\\_CIENCIA.V5I2.2401](https://doi.org/10.33936/REV_BAS_DE_LA_CIENCIA.V5I2.2401)