

# Comparación de los métodos para estimar el caudal ecológico en la cuenca Camaná- Majes – Colca - Perú

Comparison of methods to estimate the ecological flow in the Camaná -Majes – Colca basin -Peru

Comparaçãõ dos métodos para estimar a vazãõ ecológica na bacia Camaná -Majes – Colca - Peru

Oscar Enmanuel Ticona Neyra<sup>1</sup> , Paola Liberalesso Dimpério<sup>1</sup> , Marcelo Lovato Brum<sup>1</sup> , Erickson Ricardo Ferminio da Silva<sup>1</sup> , Lorenzo Balbueno Maciel Martins<sup>1</sup> , Fernanda Júlia Gaspari<sup>2</sup> , Alexandre Swarowsky<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mails: ostiney1@gmail.com, paolaliberalesso.d@gmail.com, marcelolvtb@gmail.com, erickson0695@gmail.com, lorenzo.martins@acad.ufsm.br, aleswar@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: fgaspari@agro.unlp.edu.ar

Cómo cita: Neyra, O. E. T., Dimpério, P. L., Brum, M. L., Silva, E. R. F., Martins, L. B. M., Gaspari, F. J., & Swarowsky, A. (2024). Comparación de los métodos para estimar el caudal ecológico en la cuenca Camaná- Majes – Colca - Perú. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 21, e2. <https://doi.org/10.21168/rega.v21e2>

**RESUMEN:** El objetivo principal de este artículo es realizar un análisis comparativo entre diversos métodos hidrológicos para estimar el caudal ecológico en la estructura de captación de agua denominada El Brazo en la Cuenca del Río Camaná–Majes-Colca, Perú, el cual es un río que se origina en los Andes peruanos y su desembocadura se encuentra en el Océano Pacífico. Para estimar el caudal ecológico del tramo en estudio se analizaron varios métodos hidrológicos basados en una serie histórica de 53 años de datos del caudal del río. La fuente de información fue la Estación Hidrológica Huatiapa/Perú. La especie indicadora para estimar el caudal ecológico es el camarón de río cuyo nombre científico es *Cryphiops caementarius*, el cual es de importancia económica debido a que se distribuye en grandes poblaciones en la cuenca. Finalmente, cabe resaltar que la importancia de este artículo radica en que la metodología y resultados alcanzados brindarán lineamientos de fácil uso y aplicación; lo que puede servir de guía para determinar el caudal ecológico en otros tramos de la cuenca y en cuencas con características geomorfológicas similares.

**Palabras clave:** *Cryphiops caementarius*; Bioindicador; Gestión de Recursos Hídricos.

**ABSTRACT:** The main objective of this article is to carry out a comparative analysis between various hydrological methods to estimate the ecological flow in the water catchment structure called El Brazo in the Camaná-Majes-Colca River Basin, Peru, which is a river that originates in the Peruvian Andes and its outlet is in the Pacific Ocean. To estimate the Ecological Flow of the stretch under study, several hydrological methods were analyzed based on a historical series of 53 years of river flow data. The source of information was the Huatiapa/Peru Hydrological Station. The indicator species for estimating the ecological flow is the river shrimp whose scientific name is *Cryphiops caementarius*, which is economically important because it is distributed in large populations in the basin. Finally, it is worth highlighting that the importance of this article lies in the fact that the methodology and results achieved will provide guidelines that are easy to use and apply, which can serve as a guide to determine the ecological flow in other sections of the basin and in basins with similar geomorphological characteristics.

**Keywords:** *Cryphiops caementarius*; Bioindicator; Water Resources Management.

**RESUMO:** O principal objetivo deste artigo é realizar uma análise comparativa entre vários métodos hidrológicos para estimar a vazão ecológica na estrutura de captação de água chamada El Brazo na Bacia do Rio Camaná-Majes-Colca, Peru, o qual é um rio que nasce nos andes peruanos e seu exutório é no Oceano Pacífico. Para estimar a Vazão Ecológica do trecho em estudo vários métodos hidrológicos foram analisados a partir de uma série histórica de 53 anos de dados de vazão do rio. A fonte de informação foi a Estação Hidrológica de Huatiapa/Peru. A espécie indicadora para estimar a vazão ecológica é o camarão de rio cujo nome científico é *Cryphiops caementarius*, que apresenta importância econômica por estar distribuído em grandes populações na bacia. Por fim, vale ressaltar que a importância deste artigo

Received: July 31, 2023. Revised: January 17, 2024. Accepted: February 19, 2024.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

reside no fato de que a metodologia e os resultados alcançados fornecerão diretrizes de fácil utilização e aplicação; que podem servir de guia para determinar a vazão ecológica em outras seções da bacia e em bacias com características geomorfológicas semelhantes.

**Palavras-chave:** *Cryphiops caementarius*; Bioindicador; Gestão de Recursos Hídricos.

## Introducción

La legislación peruana en temas vinculados a la gestión de los recursos hídricos (Ley N°29338) (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2019) estipula la necesidad de establecer el **caudal ecológico** en los cuerpos naturales de agua de las diferentes cuencas hidrográficas.

Particularmente, el reglamento de la Ley de Recursos Hídricos del Perú expresa como caudal ecológico al *volumen de agua que se debe mantener en las fuentes naturales de agua para la protección o conservación de los ecosistemas involucrados, la estética del paisaje u otros aspectos de interés científico o cultural* (Numeral 153.1 del Artículo 153°) Autoridad Nacional del Agua del Perú (2010b).

En la normatividad peruana no se consideraba al caudal ecológico para una adecuada gestión de los recursos hídricos, teniendo como unidad de gestión a la cuenca hidrográfica.

Para Castro Heredia et al. (2006) el Método Tennant - Montana es uno de los más usados mundialmente y se ha utilizado básicamente en corrientes que no tienen estructuras de regulación como represas, diques u otras modificaciones en el cauce. Tennant desarrolló este método basado en diez años de observaciones y mediciones de carácter fundamentalmente biológico para una especie en particular (trucha) en once ríos de Montana (Wyoming y Nebraska en Estados Unidos), encontrando relaciones entre los parámetros físicos del cauce (ancho profundidad y velocidad del cauce) y la disponibilidad del hábitat para una especie en particular, asimismo, reconoce que existe una relación entre los niveles de caudal y las características del hábitat existente; además se establece que asignar un valor único de caudal puede eliminar todo rastro existente de variabilidad temporal. Los mencionados autores indican una recomendación del régimen de caudal base que es mínimo de un 10% del caudal medio anual definido para mantener niveles de calidad del hábitat.

Rodríguez & Austria (2008) y Suwal et al. (2020) indican que al caudal que debe ser reservado para mantener la ecología fluvial en condiciones admisibles, aguas abajo de las obras o aprovechamientos hidráulicos que alteren los regímenes originales o naturales de flujo de una corriente, se lo denomina caudal de reserva ecológico.

Según la WWF (World Wide Fund for Nature, 2010), el caudal ecológico en ríos y humedales es un instrumento de gestión que permite acordar un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos, que establece la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad.

Melati & Marcuzzo (2016) indican que en la República Federativa de Brasil hay una tendencia a adoptar caudales de referencia, puesto que en el Noreste se emplea el caudal de referencia Q90%, en el Sudeste el caudal mínimo de referencia Q7,10 y en la región Centro Oeste de Brasil usualmente se usa el Q95%.

Para Cabra-Soto & Corradine-Moyano (2014), la visión, así como la definición de caudal ecológico ha cambiado a lo largo del tiempo; inicialmente (años 70), el concepto estaba fundamentado en un caudal mínimo fijo en el tiempo; posteriormente se planteó la tesis que este caudal debería calcularse a partir de las variaciones climáticas locales de la red de drenaje, en años siguientes el caudal ecológico o ambiental estaba más relacionado con los cambios en el hábitat y las funciones ecológicas del sistema hídrico y finalmente, los enfoques más recientes plantean la necesidad de mantener un buen estado ecológico del sistema, llegando a incorporar la restauración en los planes de manejo.

Según Briso-Montiano (2014) el caudal ecológico se define como un caudal mínimo que refiere a la cantidad de agua que es preciso mantener en los cauces para asegurar la vida de los peces tal que cualquier cantidad inferior produciría la muerte de estos.

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España (2015), las diferentes herramientas para el cálculo de caudales ecológicos comenzaron a desarrollarse en EEUU a mediados del siglo pasado, con el objetivo inicial de estimar los caudales mínimos requeridos para una especie concreta generalmente de interés comercial o deportivo. Indica, asimismo que posteriormente los objetivos se fueron ampliando y, en la actualidad, se han desarrollado abarcando aspectos relacionados con la estructura y funcionamiento del ecosistema en su conjunto. A lo largo de todo este tiempo se han utilizado diferentes metodologías para definir el régimen de caudales ecológicos, pudiéndose clasificar los más representativos en 4 grupos según la aproximación técnica desarrollada:

- **Enfoque hidrológico.** El cálculo del régimen de caudales ecológicos se basa en datos hidrológicos, tratándose de distintas formas (caudales clasificados, tanto por ciento del caudal medio, etc.) para establecer las recomendaciones de caudal. Son aplicables a distintas escalas desde la planificación hidrológica hasta la de tramos de río concretos; se realizan en gabinete y son rápidos, sencillos y poco costosos; pero requieren de datos de aforos disponibles y fiables. Se destacan dos métodos desarrollados en España, el método del QBM, Caudal Básico de mantenimiento, y el método Q25.
- **Enfoque hidráulico.** El caudal ecológico se deduce de la relación entre algún parámetro hidráulico (normalmente el perímetro de mojado o la profundidad) y el caudal. Sólo admite aplicaciones locales, y son relativamente rápidos en su cálculo. Dentro de este grupo puede nombrarse el del perímetro mojado, uno de los de mayor aplicación a nivel mundial.
- **Enfoque hidrobiológico (de modelización de hábitats).** El caudal se deduce a partir de una cuantificación previa del hábitat físico de una especie de referencia (normalmente peces) y del análisis de su relación con el caudal mediante simulación hidráulica. En lugar del hábitat físico, algunos de estos métodos utilizan variables biológicas como la biomasa o la diversidad ecológica, de distintas comunidades naturales. Sólo admite aplicaciones a tramos concretos de ríos. Dentro de este grupo se encuentra la metodología IFIM, la más utilizada en el mundo y una de las más populares en general en la definición y establecimiento de regímenes de caudales ecológicos.
- **Enfoque holístico.** Su principio básico es similar al de los métodos hidrológicos secuenciales, pero más que un método en sí, es un procedimiento o protocolo con el que el caudal de mantenimiento se deduce buscando una solución consensuada a partir de un análisis independiente de la magnitud y distribución del caudal que necesitan los componentes del ecosistema fluvial objetivo, sean aspectos abióticos geomorfología, calidad del agua, etc.), ecológicos (comunidades naturales), preceptivos (paisaje), socioeconómicos o todos en conjunto. Es bueno como planteamiento metodológico, pero en la práctica su aplicación puede ser compleja en función de la heterogeneidad de los resultados parciales obtenidos para cada componente considerado. Como metodología representativa se puede citar la sudafricana.

Cassie et al. (2015) indica que dentro de las importantes conclusiones del método Tennant, el cual que podría decirse que se puede aplicar en muchos diferentes entornos hidrológicos, lo que significa que cuando los ríos están dentro 60-30% del caudal medio anual, la reducción de los parámetros hidráulicos del río está dentro de los niveles aceptables para mantener un buen hábitat para los peces. A flujos entre 30% y 10% del caudal medio anual, estos mismos sistemas hidráulicos los parámetros disminuyen más rápidamente con la disminución de la descarga, y el hábitat de los peces está en transición de regular a degradado. En condiciones de flujo más bajo, Tennant (1976) señaló que el hábitat de peces disponible, en general, disminuyó rápidamente a cero, de ahí su recomendación de caudal mínimo del 10% del caudal medio anual para mantener un hábitat de supervivencia a corto plazo para la biota acuática.

Similar apreciación tiene Alcóser-Torres (2014) quien indica que se calculó el 10% del caudal medio anual que se considera el caudal mínimo para la sobrevivencia de los seres vivos de la flora y fauna fluvial, el caudal ecológico que calculó de acuerdo con el método Tennant quien los identificó como niveles recomendados para la vida acuática.

Para Gallo-Vélez (2016) definió el caudal ecológico como aquel que permitiera el mantenimiento del patrimonio hidrobiológico y sociocultural del medio fluvial y que, a su vez, fuera compatible con la necesidad de abastecimiento doméstico y de suministro agrícola e industrial. Una definición más reciente, habla de caudal ecológico como el flujo mínimo necesario para preservar los valores ecológicos del cauce, dentro de los cuales se incluyen los hábitats naturales, la función de dilución de contaminantes, el uso recreativo y el paisaje, entre otros.

González Villela & Banderas Tarabay (2015) mencionan al Método de Tennant modificado para las zonas tropicales de México. En esta modificación se introducen algunas variaciones como es el caso que los cálculos se basan en los caudales medios mensuales, en lugar de los promedios anuales para hacerlos coincidir con la distribución de caudales naturales mensuales durante el año.

Se reconoce que no es adecuado establecer un caudal mínimo único, puesto que la estructura y función de un ecosistema ribereño y muchas adaptaciones de la biota son generados por los patrones de variación temporal en los caudales fluviales. Es por ello, que en el presente artículo se evaluará un tramo de interés de la Cuenca Camaná- Majes-Colca, el cual es el ámbito de influencia de la Bocatoma del Brazo, puesto que a partir de ella se abastece de recurso hídrico para el principal usuario de la cuenca el cual es el agrario.

En este artículo, se aborda la estimación del caudal ecológico en un cuerpo natural de agua que es el río Camaná – Majes – Colca a partir de una barrera artificial que es la bocatoma el Brazo, que desvía el recurso hídrico para el uso netamente agrario en el valle de Camaná.

## Descripción General de la Cuenca

La cuenca del río Camaná-Majes-Colca, se encuentra ubicada al Sur del Perú, y su ámbito está comprendido principalmente en el Departamento de Arequipa, e incluye un pequeño sector del Sur del Departamento de Cusco y otro del Oeste del departamento de Puno (Figura 1).

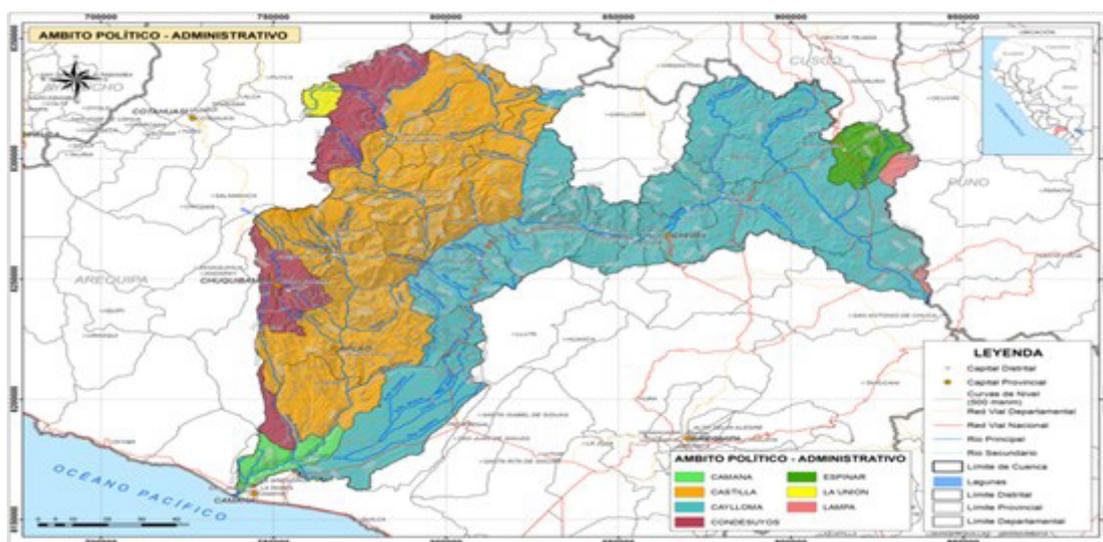


Figura 1: Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Camaná-Majes-Colca

Fuente: Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Camaná-Majes-Colca (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2015)

La cuenca Camaná-Majes-Colca (unidad hidrográfica 134) tiene una extensión de 17152,73 km<sup>2</sup> y se encuentra en la vertiente del Pacífico, entre las coordenadas geográficas que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1: Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Camaná-Majes-Colca

Sistemas	Datum	Componentes	Valor	
			Mínimo	Máximo
Coordenadas Geográficas	Horizontal WGS 84	Longitud Oeste	70° 53' 5"	72° 44' 6"
Coordenadas UTM Zona18	Horizontal WGS 84	Metros Este	737 940	821 990
Altitud	Vertical Nivel Medio del Mar	msnm	0	6 398

Fuente: Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Camaná-Majes-Colca (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2015).

El río Colca junto con el río Molloco y otros afluentes menores forman el río Majes que desemboca en el Océano Pacífico con el nombre de Camaná (en donde se desarrolló este artículo). Los principales tributarios del río Camaná-Majes-Colca por la margen derecha son los ríos Antasalla, Blanquillo, Negrillo, Condorama, Maqueruyo, Chalhuanca, Molloco, Andagua, Capiza, Río Grande y Puluviñas; por la margen izquierda son los ríos Llapa, Hualca Hualca y Huambo.

El relieve general de la cuenca Camaná-Majes-Colca es el que caracteriza a la mayoría de los ríos de la vertiente occidental, es decir, de fondo profundo y quebrado y de pendiente fuerte, presenta una fisiografía escarpada cortada por quebradas de fuerte pendiente y estrechas gargantas, la cuenca se encuentra limitada por cadenas de cerros con dirección hacia aguas abajo.

El río Camaná-Majes-Colca tiene un perfil de pendiente muy suave en los primeros 140 km hasta el comienzo del encañonamiento, tramo en el que se vuelve más pronunciada, hasta tomar una forma ligeramente cóncava en el curso medio y bajo (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2015).

La cuenca comprende una población de 94 499 habitantes. La unidad hidrográfica más poblada es el Alto Camaná (25,1%), donde destacan los pueblos de Chivay, Cabanaconde, Lari y Coporaque. La tasa de analfabetismo en las provincias en el departamento de Arequipa, donde se enmarca la casi totalidad de la cuenca es del 4.1%, en donde la provincia que registra una mayor tasa de analfabetismo es la de La Unión, con el 20.8% (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2015). Entre las principales actividades económicas destaca la actividad agropecuaria (Valle del Colca, con un elevado nivel de minifundios, Castilla Alta, con áreas irrigadas por aguas del río Majes. Importancia en la ganadería lechera y por tanto, en el cultivo de alfalfa. y Valle de Majes y valle de Camaná, grandes productores de arroz y cereal) La actividad acuícola está centrada principalmente en el *Cryphiops caementarius*. En la parte alta de la provincia de Castilla destaca la actividad minera; algunas de las principales minas son Orcopampa y Shila, donde se explota oro, plata y cobre. En Pampacolca existe antimonio y uranio radioactivo. En Orcopampa y Chilcaymarca se explotan también minerales no metálicos. El turismo se basa sobre todo en los atractivos naturales del valle del Colca y del valle de los volcanes (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2015).

### **Enfoques Integrales del caudal ecológico**

La determinación del Caudal Ecológico está enmarcada dentro de la gestión integrada de los recursos hídricos, como un proceso que se promueve en la cuenca el uso y aprovechamiento sostenible del agua y de los recursos vinculados a esta, dentro de un enfoque multidisciplinario y multisectorial, abarcando los diferentes usos y usuarios involucrados.

En este artículo, se contempla la correlación entre los métodos hidrológicos respecto al método planteado en el cual se ponderan variables favorables para la especie indicadora (*Cryphiops caementarius*) como es el caso de la velocidad de la corriente, profundidad y ancho de cauce del tramo del río.

### **Fundamentos de la elección del tema**

La cuantificación del caudal ecológico busca un valor umbral por encima del cual una especie indicadora se recupera de las perturbaciones ocasionadas por la falta de escorrentía (ENDESA -Chile 2011).

En la cuenca hidrográfica del río Camaná - Majes-Colca, no dispone de una metodología aprobada y validada para determinar el caudal ecológico para la protección o conservación del ecosistema del cuerpo natural del río Camaná - Majes-Colca; tan solo se ha aplicado una metodología replicada de otras cuencas (que aún no están validadas) basadas en el enfoque hidrológico. Un ejemplo antecedente es el cálculo del caudal ecológico para el río Ocoña, perteneciente a la cuenca del mismo nombre efectuado por la Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA). Cabe anotar que dicha cuenca hidrográfica tiene similares condiciones y características y es adyacente a la cuenca Camaná-Majes-Colca.

La información necesaria para la cuantificación de caudales la aporta el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), que es un organismo público ejecutor adscrito al Ministerio del Ambiente del Perú. Dicha institución tiene como propósito generar y proveer información y conocimiento meteorológico, hidrológico y climático de manera confiable, oportuna y accesible en beneficio de la sociedad peruana. Con el ánimo de difundir información confiable y de calidad, el SENAMHI opera, controla, organiza y mantiene la red nacional de más de 900 estaciones meteorológicas e hidrológicas de conformidad con las normas técnicas de la Organización Meteorológica Mundial.

Cabe anotar que la mencionada entidad dio a conocer mediante comunicación digital de fecha 18 de septiembre del 2018, que opera tres (03) estaciones hidrológicas en la cuenca Colca-Camaná-Majes de las cuales la estación Huatiapa posee información desde el año 1944 hasta la fecha, siendo la estación con la información más consistente para efectuar el estudio. Dicha estación se encuentra en la Latitud: 16° 0' 28.42"; Longitud: 72°29'54" y una Altitud de 689 m.s.n.m.

Cabe anotar que la Cuenca Ocoña, tiene características morfológicas similares a la cuenca en estudio, es decir la cuenca Colca-Camaná-Majes tal y como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2: Características Geomorfológicas de la Cuenca Ocoña y de la Cuenca Camaná-Majes-Colca

Parámetros morfométricos			Cuenca Hidrográfica	
			Ocoña	Colca - Camaná - Majes
Área	(km <sup>2</sup> )	A	15913.22	17094.51
Perímetro	(km)	P	883.34	1089.64
Altitud Media	(m)	AM	3787.67	3614.79
Pendiente Media	(%)	PM	34.17	30.44
Coefficiente de Compacidad		Kc	1.96	2.34
Factor de Forma		Ff	0.45	0.35
Longitud Mayor	(km)	LM	402.1	511.49
Longitud Menor	(km)	Lm	39.58	33.33
Longitud de Cauce Principal	(km)	Lc	165.66	272.64
Pendiente del Cauce Principal	(km)	Pc	0.97	1.4
Caudal Máximo para un Tiempo de Retorno de 25 años	(m <sup>3</sup> /s)	Q	1453.10	1134.10

Fuente: Autoridad Nacional del Agua del Perú (2010a).

Por lo que es de inferir que el comportamiento de la especie indicadora para el estudio, el *Cryphiops caementarius*, es similar para ambas cuencas, más aún si se considera que una con otra es adyacente y que, asimismo, se trata de la misma especie que habita en la cuenca Ocoña y en la cuenca Camaná - Majes - Colca.

Dicha afirmación, puede ser corroborada con estudios como el de Reyes & Col apud Piérola & Rossana (2018) el mismo que afirma que el *Cryphiops caementarius* tiene una distribución y una población importante, en prácticamente todos los ríos de la vertiente occidental sur del Perú, dentro de ellos en los ríos Ocoña y Colca -Camaná-Majes.

Para el caso del río Camaná, la especie indicadora recomendada para estudiar corresponde al crustáceo decápodo llamado "Camarón de Río" cuyo nombre científico es: *Cryphiops caementarius*. De acuerdo con el trabajo de Reyes & Col apud Piérola & Rossana (2018) el Camarón de Río tiene una distribución entre los 10° a los 30° de Latitud Sur, mientras que altitudinalmente se reporta hasta los 1700 m.s.n.m. en el río Majes (que forma parte de la Cuenca Camaná-Majes-Colca).

Considerando que existe una relación inversa entre la altitud y el número de individuos así como la biomasa, el lugar a realizar el estudio del caudal ecológico corresponde a la bocatoma "El Brazo", ya que es una estructura de tipo permanente ubicada en la margen izquierda del río Camaná en la progresiva km 15 + 400 en las coordenadas Latitud: 16° 32' 35.71"; Longitud: 72° 42' 05" con un caudal de captación de 13 m<sup>3</sup>/s representando alrededor del 60% del total del caudal del río Camaná, en época de estiaje y deriva aguas abajo un caudal de 8 m<sup>3</sup>/s sobre el cual se realizará el estudio. Se entiende por bocatoma a la estructura de concreto, mampostería u otro material que permite derivar y regular las aguas en cauce natural hacia una red de conducción de un sistema de infraestructura hidráulica (Figura 2).

Según el IMARPE - Instituto del Mar del Perú (2007) las más altas poblaciones de este crustáceo (*Cryphiops caementarius*) se encuentran en los ríos del departamento de Arequipa, principalmente en los ríos Ocoña, Majes-Camaná y Tambo, debido a que dichos ríos llevan mayor caudal de agua. Por lo que la especie indicadora para el presente estudio es el *Cryphiops caementarius*, considerando, asimismo, su importancia económica en el ámbito de estudio.



Figura 2: Bocatoma El Brazo

Fuente: Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca-Camaná-Majes-Colca (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2015).

### Antecedentes

En la cuenca Ocoña (de similares características a la cuenca en estudio y adyacente a la misma) se efectuó el cálculo del caudal ecológico realizado por el proyecto Central Hidroeléctrica OCO 2010 empleándose métodos ecológicos y holísticos para la especie *Cryphiops caementarius*, señalándose como caudal ecológico 6,5 m<sup>3</sup>/s, dicho caudal prevé determinar un caudal aceptable para la subsistencia de la mencionada especie. La determinación del caudal ecológico para el *Cryphiops caementarius* realizada en la cuenca del río Ocoña, es uno de los primeros antecedentes de la aplicación de dicha metodología.

### Materiales y Métodos

Este trabajo integra la investigación de Maestría denominada: “Análisis Comparativo de las Metodologías para Estimar el Caudal Ecológico en la Bocatoma del Brazo – Cuenca del Río Camaná – Majes – Colca. Perú”; realizada en el año 2021.

### Cálculo del Caudal Ecológico por Métodos Hidrológicos.

Se empleó el método Weibull determinándose el caudal al 95% de persistencia; a partir de las curvas de duración para cada serie de datos medios mensuales, de una serie histórica de por lo menos 20 años a partir de la información generada por el SENAMHI (de quien se recopilarán los datos) y por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el tramo de interés de la fuente natural de agua, siendo en este caso, en la bocatoma del Brazo en el río Camaná-Majes-Colca.

### Método de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (Autoridad Nacional del Agua del Perú (DCPRH))

Una segunda metodología, se refiere a los criterios definidos para la determinación de los caudales ecológicos los cuales se basan en el Informe Técnico N° 023-2012-ANA-DCPRH-ERH-SUP-GTP Autoridad Nacional del Agua del Perú (2015), emitido por la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Este se propone con carácter provisional hasta que la ANA apruebe el reglamento de determinación del caudal ecológico. Para ello se debe considerar, para cursos con caudales medios anuales:

- Menores o iguales de 20 m<sup>3</sup>/s, el caudal ecológico será como mínimo el 10% del caudal medio mensual en la época de avenida, y 15% en época de estiaje.
- Mayores de 20 m<sup>3</sup>/s y menores o iguales a 50 m<sup>3</sup>/s, el caudal ecológico será como mínimo el 10% del caudal medio mensual en época de avenida, y 12% en la época de estiaje.
- Mayores a 50 m<sup>3</sup>/s, el caudal ecológico corresponderá al 10% del caudal medio mensual para todos los meses del año.

### Método del 10% (Método de Tennant o Montana).

La tercera metodología se trata del Método del 10% que indica que el caudal ecológico propiamente dicho es similar al 10% del caudal medio anual del río. Este método ha sido recomendado por el Ministerio de Obras Públicas y de Transportes de España (MOPT, 1989 apud Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S. A., 2009).

### Método de Rafael Heras

Un cuarto método es el de Rafael Heras; que consiste en el análisis en los periodos de sequía extrema y considera que ésta puede alcanzar valores de hasta 20% del caudal medio mensual en 3 meses consecutivos. También Rafael Heras considera que, en zonas semi-áridas se estima que el caudal de sequía puede llegar a tener valores del 2 a 3% del caudal medio anual (Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S. A., 2009).

### Método Planteado

A partir de los antecedentes, se empleó al *Cryphiops caementarius* como especie predominante del ecosistema para realizar el análisis del caudal ecológico de dicha especie empleando tres parámetros físicos: ancho del cauce, profundidad y velocidad de la corriente a nivel de la superficie libre del agua, como las variables determinantes en el buen estado del hábitat y desarrollo de los organismos acuáticos, el caudal se determinó según la siguiente ecuación:

$$Q = A \times V \quad (1)$$

Donde:

Q: Caudal expresado en m<sup>3</sup>/s

A: Área de la sección en m<sup>2</sup>

V: Velocidad del flujo en m/s

Para establecer el ancho del cauce del tramo del río Camaná-Majes-Colca, se emplearon metodologías y fórmulas empíricas validadas por la Autoridad Nacional del Agua del Perú mediante la Resolución Jefatural N° 423-2011-ANA (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2011). Con dichos métodos se determinó el parámetro ancho de cauce, el cual es insumo para establecer el Caudal Ecológico. Los parámetros adicionales son la velocidad de la corriente y la profundidad requerida por la especie en estudio.

## Resultados y Discusión

### Cálculo del Caudal Ecológico por Métodos Hidrológicos

El estudio de determinación del caudal ecológico se realizó utilizando información estadística de una serie histórica de 53 años, es decir, desde el año 1965 al año 2017. Se obtuvieron los resultados de las persistencias de dicha serie histórica, a partir del cual se estimaron los datos del caudal ecológico considerando el método de Weibull (1951), que se muestran en la Tabla 3. Habiéndose encontrado las persistencias al 94% y al 96%, se determinó la persistencia al 95%, como lo establece la Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2016) que representa el Caudal Ecológico por el método hidrológico.

Tabla 3: Persistencia al 95% de los Caudales Medios Mensuales (m<sup>3</sup>/s)

Persistencia (%)	94%	96%	95%
Enero	53.46	50.34	51.90
Febrero	79.71	69.91	74.81
Marzo	58.68	55.53	57.11
Abril	43.42	32.05	37.74
Mayo	19.33	18.57	18.95
Junio	16.35	15.97	16.16
Julio	13.88	13.03	13.46
Agosto	15.06	14.95	15.01
Septiembre	14.12	13.66	13.89
Octubre	15.81	15.81	15.81
Noviembre	17.63	15.11	16.37
Diciembre	21.36	19.86	20.61

Fuente: Ticona (2021).

### Método de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (Autoridad Nacional del Agua del Perú (DCPRH))

En función a los criterios definidos para la determinación de los caudales ecológicos los cuales se basan en el Informe Técnico N° 023-2012-ANA-DCPRH-ERH-SUP-GTP Autoridad Nacional del Agua del Perú (2015), emitido por la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y considerando la información de los caudales medios mensuales consignados en la Tabla 4, teniendo en cuenta la presencia de caudales medios anuales mayores a 50 m<sup>3</sup>/s, en donde el caudal ecológico corresponderá al 10% del caudal medio mensual para todos los meses del año, por ello, el caudal ecológico corresponde a lo descrito en la Tabla 4:

Tabla 4: Caudal Ecológico por el Criterio de la DCPRH (m<sup>3</sup>/s)

MES	PROMEDIO	10%
Enero	209.79	20.98
Febrero	270.69	27.07
Marzo	220.20	22.02
Abril	102.53	10.25
Mayo	38.06	3.81
Junio	29.03	2.90
Julio	25.96	2.60
Agosto	28.10	2.81
Septiembre	33.75	3.38
Octubre	37.20	3.72
Noviembre	52.64	5.26
Diciembre	99.35	9.94

Fuente: Ticona (2021).

### Método del 10% (Tennant o Montana).

Pantoja Valencia (2017) define al método de Tennant o Montana como aquel que proporciona las pautas para el manejo del caudal en base al porcentaje del caudal promedio que mantendría los atributos biológicos de un río. Es un método rápido donde la mayoría de los países lo han usado, básicamente en corrientes que no tienen estructuras de regulación como represas, diques u otras modificaciones en el cauce. Para dicho autor, el caudal mínimo recomendado corresponde al 10%.

González Vilella & Banderas Tarabay (2015) indican que el 10% del caudal medio anual es el mínimo recomendable a corto plazo para mantener el hábitat a nivel de sobrevivencia para la mayoría de las formas de vida en el cauce.

En este caso, los resultados son los mismos que los establecidos por la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua del Perú (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2015) ya que ambas metodologías son coincidentes entre sí, ello debido a que los caudales en el tramo en estudio son mayores a 50 m<sup>3</sup>/s.

### Método de Rafael Heras

Para el presente método, y considerando que el ámbito en estudio es una zona semi-árida se ha estimado el caudal ecológico considerando los valores del 3% del caudal medio anual en la serie de caudales medios mensuales, en función a lo establecido en la Tabla 5:

Tabla 5: Caudal Ecológico por el Método de Rafael Heras (m<sup>3</sup>/s)

MES	PROMEDIO	3%
Enero	209.79	6.29
Febrero	270.69	8.12
Marzo	220.20	6.61
Abril	102.53	3.08
Mayo	38.06	1.14
Junio	29.03	0.87
Julio	25.96	0.78
Agosto	28.10	0.84
Septiembre	33.75	1.01
Octubre	37.20	1.12
Noviembre	52.64	1.58
Diciembre	99.35	2.98

Fuente: Ticona (2021).

## Método Planteado

El ancho de cauce expresado en unidades de metros (m.) fue obtenido considerando como insumo principal al dato del caudal (expresado en m<sup>3</sup>/s) en función a lo descrito en el capítulo de metodología, obteniéndose los resultados que se pueden apreciar en la Tabla 6:

Tabla 6: Valores del Ancho de Cauce (m)

Mes	Ancho (m)
Enero	64.3
Febrero	73.1
Marzo	65.9
Abril	45.0
Mayo	27.4
Junio	23.9
Julio	22.6
Agosto	23.5
Septiembre	25.8
Octubre	27.1
Noviembre	32.2
Diciembre	44.3

Fuente: Ticona (2021).

Según Quevedo Medina (2016) en el “Estudio de las Características de Hábitat Asociadas a Presencia de *Cryphiops caementarius* (Camarón de río) en el río Ocoña, y medidas para conservar este recurso”, las condiciones óptimas establecidas por el índice de uso de hábitat para *Cryphiops caementarius*, establecen una profundidad de 0.57 m; una velocidad media de 0.54 m/s.

Hay que considerar que en el caso del *Cryphiops caementarius*, se trata de la misma especie que se presenta en la cuenca Colca -Camaná -Majes y que, asimismo, ambas cuencas son adyacentes y poseen un similar régimen hidrológico, geológico y de ambientes comunes.

Por lo tanto, se ha procedido a estimar el caudal ecológico por el método planteado como aporte al conocimiento, empleando como insumos el dato de la velocidad media de la corriente de 0.54 m/s y la profundidad de 0.57 m. así como el ancho de la sección del cauce cuyos resultados, se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7: Valores del Caudal Ecológico (m<sup>3</sup>/s) por el Método Planteado

Mes	Ancho cauce (m.)	Caudal (m <sup>3</sup> /s.)
Enero	64.3	19.79
Febrero	73.1	22.5
Marzo	65.9	20.28
Abril	45.0	13.85
Mayo	27.4	8.43
Junio	23.9	7.36
Julio	22.6	6.96
Agosto	23.5	7.23
Septiembre	25.8	7.94
Octubre	27.1	8.34
Noviembre	32.2	9.91
Diciembre	44.3	13.64

Fuente: Ticona (2021).

A continuación, en la Tabla 8, se muestra el consolidado de los resultados del Caudal Ecológico obtenido por los diversos métodos aplicados:

Tabla 8: Valores del Caudal Ecológico (m<sup>3</sup>/s) estimados según metodologías propuestas

Mes	Método Hidrológico	Método DCPRH	Método del 10% (Tennant o Montana).	Método de Rafael Heras	Método Planteado
Enero	51.90	20.98	20.98	6.29	19.79
Febrero	74.81	27.07	27.07	8.12	22.5
Marzo	57.11	22.02	22.02	6.6	20.28
Abril	37.74	10.25	10.25	3.08	13.85
Mayo	18.95	3.81	3.81	1.14	8.43
Junio	16.16	2.90	2.90	0.87	7.36
Julio	13.46	2.60	2.60	0.78	6.96
Agosto	15.01	2.81	2.81	0.84	7.23

Tabla 8: Continuación...

Mes	Método Hidrológico	Método DCPRH	Método del 10% (Tennant o Montana).	Método de Rafael Heras	Método Planteado
Septiembre	13.89	3.38	3.38	1.01	7.94
Octubre	15.81	3.72	3.72	1.12	8.34
Noviembre	16.37	5.26	5.26	1.58	9.91
Diciembre	20.61	9.94	9.94	2.98	13.64

Fuente: Ticona (2021).

Como se puede apreciar e inferir en la Tabla 8, el Método Hidrológico (empleando el 95% de persistencia en una serie histórica), así como el método de Rafael Heras generan como resultado valores que están muy alejados del Método Planteado. Sin embargo, en contraparte, los métodos cuyos valores más se acercan a los datos obtenidos mediante el Método Planteado son los de la Dirección de Conservación y Planeamiento de la Autoridad Nacional de Agua del Perú, así como el Método del 10% (Tennant o Montana), lo que se puede observar en la Tabla 9. Cabe anotar que estos dos últimos métodos tienen los mismos valores entre sí.

Asimismo, los resultados obtenidos por los métodos de Dirección de Conservación y Planeamiento de la Autoridad Nacional de Agua del Perú, así como el Método del 10% (Tennant o Montana), en el tramo de la cuenca evaluado, se aproximan a lo obtenido por el estudio de Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2015), considerando que la Autoridad Nacional del Agua del Perú, es el ente rector y máxima autoridad técnico-normativa en la gestión de los recursos hídricos del Perú.

Por otro lado, como se puede apreciar en la Figura 3, se ha procedido a correlacionar los resultados obtenidos tanto por el método del 10% o de Tennant Montana (variable independiente "X") respecto a los valores obtenidos por el Método Planteado (variable dependiente "Y") añadiendo gráficos de dispersión y líneas de tendencia, encontrándose que existe una relación perfecta ( $R^2 = 1$ ) de orden potencial entre ambos, sin embargo cualquier ecuación de ajuste podría usarse para estimar el caudal ecológico; por lo cual con la fórmula obtenida  $Y = 4.3165 X^{0.5006}$  se puede estimar el caudal ecológico a partir del 10% de cualquier dato de caudal medio mensual de acuerdo a la siguiente tabla y gráfico:

Tabla 9: Comparativo de los Resultados Obtenidos por el Método del 10% Respecto al Método Planteado

Mes	Método del 10% (Tennant o Montana)	Método Planteado
Enero	20.98	19.79
Febrero	27.07	22.5
Marzo	22.02	20.28
Abril	10.25	13.85
Mayo	3.81	8.43
Junio	2.90	7.36
Julio	2.60	6.96
Agosto	2.81	7.23
Septiembre	3.38	7.94
Octubre	3.72	8.34
Noviembre	5.26	9.91
Diciembre	9.94	13.64

Fuente: Ticona (2021).

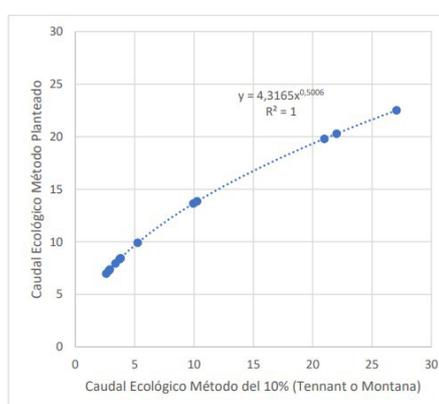


Figura 3: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Potencial del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado

Fuente: Ticona (2021).

## CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados permiten concluir:

- a) Dada su importancia económica, así como sus altas poblaciones en la cuenca del Río Camaná-Majes-Colca, Perú, se ha considerado al Camarón del Río con nombre científico *Cryphiops caementarius* como especie indicadora para estimar el caudal ecológico en el tramo de la bocatoma del Brazo, ello tomando en cuenta diversos estudios realizados por entidades rectoras en el tema.
- b) Para efectuar la estimación del caudal ecológico en la Bocatoma del Brazo, se han empleado diversos métodos Hidrológicos (95% de persistencia, Rafael Heras, Dirección de Conservación y Planeamiento de la Autoridad Nacional del Agua del Perú-DCPRH y el método de Tennant o Montana) cuyos resultados se han comparado con los valores estimados mediante el Método Planteado.
- c) El método considerando datos con el 95% de persistencia en una serie histórica, así como el método de Rafael Heras dan como resultado valores que están muy distantes con relación al Método Planteado. Por otro lado, los métodos cuyos valores más se acercan a los datos obtenidos mediante el Método Planteado son los de la Dirección de Conservación y Planeamiento de la Autoridad Nacional de Agua del Perú -DCPRH, así como el método de Tennant o Montana, los cuales dan como resultado los mismos valores entre sí, por lo tanto, se recomienda su aplicación.
- d) Al efectuar la correlación de los resultados obtenidos tanto por el Método del 10% o de Tennant o Montana (variable independiente "X") respecto a los valores obtenidos por el Método Planteado (variable dependiente "Y") añadiendo gráficos de dispersión y líneas de tendencia, se ha encontrado que existe una relación perfecta ( $R^2 = 1$ ) de orden potencial entre ambos, por lo cual con la fórmula obtenida de  $Y = 4.3165 X^{0.5006}$  se puede estimar el caudal ecológico a partir del 10% de cualquier dato de caudal medio mensual.

## REFERENCIAS

- Alcoser-Torres, F. E. (2014). *Cálculo del caudal ecológico del río Tumbes en la estación El Tigre* (Tesis maestría Recursos Naturales. Universidad de Cajamarca.
- Autoridad Nacional del Agua del Perú – INCLAM Perú. (2015). *Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca Camaná –Majes-Colca*. Perú. Recuperado el 19 mayo de 2019, de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/7>
- Autoridad Nacional del Agua del Perú. (2010a). *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos*. Perú. Recuperado el 1 junio 2019, de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/instrumentos-de-gestion/reglamentos-rh>
- Autoridad Nacional del Agua del Perú. (2010b). *Reglamento de la Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos*. Recuperado el 17 de enero de 2024, de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/instrumentos-de-gestion/reglamentos-rh>
- Autoridad Nacional del Agua del Perú. (2011). *Resolución Jefatural N° 423-2011-ANA; "Opinión Técnica Vinculante para Otorgamiento de Autorizaciones de Extracción de Materiales de Acarreo en Cauces Naturales de Agua"*. Perú. Recuperado el 20 octubre de 2019, de <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-423-2011-ana-0>
- Autoridad Nacional del Agua del Perú. (2015). *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Camaná - Majes - Colca*. Recuperado el 17 de enero de 2024, de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/7>
- Autoridad Nacional del Agua del Perú. (2016). *Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA; "Aprobación de metodologías para determinar caudales ecológicos"*. Recuperado el 17 de enero de 2024, de [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.\\_154-2016-ana.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._154-2016-ana.pdf)
- Autoridad Nacional del Agua del Perú. (2019). *Ley de los Recursos Hídricos: Ley N° 29338*. Recuperado el 17 de enero de 2024, de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/228>
- Briso-Montiano, L. (2014). *Del Caudal Mínimo al Caudal Ecológico a Través del Régimen Concesional*. In: CONAMA – Congreso Nacional del Medio Ambiente, España (pp. 1-25). Recuperado el 13 abril de 2019, de <https://silo.tips/download/del-caudal-minimo-al-caudal-ecologico-a-traves-del-regimen-concesional>
- Cabra-Soto, A. P., & Corradine-Moyano, M. F. (2014). *Estimación del caudal ecológico por los métodos 7Q10, q 95% y los factores de reducción del 25% en el río Ocoa, a partir de la generación de caudales diarios utilizando el modelo agregado de tanques*. Universidad Católica de Colombia. Recuperado el 20 junio de 2019, de <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/d263c259-655a-4093-bd38-eae6476cf49f>

- Caissie, J., Caissie, D., & El-Jabi N. (2015). Hydrologically based environmental flow methods applied to rivers in the Maritime Provinces (Canada). *River Research and Applications*, 31(6), 651-662.
- Caissie, J., Caissie, D., & El-Jabi, N. (2015). Hydrologically based environmental flow methods applied to rivers in the Maritime Provinces (Canada). *River Research and Applications*, 31(6), 651-662.
- Castro-Heredia, L. M., Carvajal-Escobar, Y., & Monsalve-Durango, E. A. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. *Ingeniería y Universidad*, 10(2), 179-195.
- Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S. A. (2009). *Estudio de Impacto Ambiental de la Central Hidroeléctrica Molloco*. Perú. Recuperado el 27 marzo de 2019, de <https://docplayer.es/75512229-Determinacion-de-caudal-ecologico-minimo-del-rio-molloco-contenido-3-1-determinacion-del-caudal-de-usos-actuales-y-o-comprometidos-qua.html>
- ENDESA Chile. (2011). *Introducción al Cálculo de Caudales Ecológicos Un Análisis de las Tendencias Actuales*. Chile. Recuperado el 18 junio de 2019, de <https://pt.scribd.com/document/55902358/Introduccion-al-Calculo-de-Caudales-Ecologicos-Endesa>
- España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2015). *Conceptos y Métodos Sobre el Régimen de Caudales Ecológicos*. España. Recuperado el 14 junio de 2019, de <https://pt.scribd.com/document/55351833/Conceptos-y-metodos-sobre-el-regimen-de-caudales-ecologicos>
- Gallo-Vélez, D. (2016). Consideraciones para la aplicación del método hidráulico R2CROSS para estimar caudales ecológicos en Colombia, *Intropica*, 111-126.
- González Villela, R., & Banderas Tarabay, A. (2015). Metodologías para el cálculo de caudales ecológicos y ambientales en ríos regulados por presas. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado el 19 mayo de 2019, de <http://sitimta.org.mx/wp-content/uploads/2018/08/Artic.3-metodos-de-caudal-Nayarit.pdf>
- Instituto del Mar del Perú – IMARPE. (2007). *Informe Anual 2007, Monitoreo Poblacional de Camarón de Río Estimación de Abundancia de Adultos en Ríos de la Costa Centro Sur*. Perú. Recuperado el 29 julio de 2019, de <https://pdfcoffee.com/zacarias-yeppez-2007-monitoreo-camaron-de-rio-pdf-pdf-free.html>
- Melati, M. D., & Marcuzzo, F. F. N. (2016). Simple and Robust Regressions in Flows Regionalization of q95 in Taquari-antas River Basin. *Ciência e Natura*, 38(2), 722. Recuperado el 20 enero de 2024, de <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16858>
- Monroy Piérola, Carmen Rossana (2018). *Niveles de Metales Pesados Cromo, Arsénico, Plomo y Mercurio en Cefalotorax de Cryphiops Caementarius (Camarón) en los Ríos Ocoña, Majes y Tambo Arequipa 2016*. (Trabajo de Graduación), Universidad Católica Santa María, Arequipa, Peru.
- Pantoja Valencia, N. (2017). *Estimación de Caudales Ecológicos Mediante Métodos Hidrológicos, Hidráulicos y Ecológicos En La Quebrada El Conejo (Mocoa -Putumayo)*. Universidad Pontificia Javeriana, Colombia. Recuperado el 15 junio de 2019, de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21157/PantojaValenciaNatalia2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Piérola, M., & Rossana, C. (2018). *Niveles de metales pesados Cromo, Arsénico, Plomo y Mercurio en Cefalotorax de Cryphiops Caementarius (Camarón) en los Ríos Ocoña, Majes y Tambo Arequipa 2016*. (Trabajo de Graduación). Universidad Católica Santa María, Arequipa, Peru. Recuperado el 17 de enero de 2024, de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3ab414af-5fc6-4a4f-8050-6f96c2037eee/content>
- Quevedo Medina, R. R. (2016). *Estudio de las características de hábitat asociadas a la presencia de cryphiops caementarius (camarón de río) en el río Ocoña, y medidas para conservar este recurso, Arequipa 2016* (Tesis maestría Ciencias en Gerencia, Auditoría y Gestión Ambiental). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. Recuperado el 20 junio de 2019, de <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/b48c335d-030b-47ea-9c83-cf4d496693ee>
- Rodríguez, E. G., & Austria, P. F. M. (2008). *Métodos de cálculo del caudal de reserva ecológico paracorrientes superficiales: el caso de los Ríos Tonto y Santodomingo, en el estado de Oaxaca, México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado el 17 de enero de 2024, de <https://docplayer.es/28196580-M-en-t-a-ezequiel-garcia-rodriguez-dr-poliopro-f-martinez-austria.html>
- Suwal, N., Kuriki, A., Huang, X., Delgado, J., Mlynsky, D., & Walega, A. (2020). Environmental flows assessment in Nepal: the case of Kaligandaki River. *Sustainability*, 12(21), 8766.
- Tennant, D. L. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries (Bethesda, Md.)*, 1(4), 6-10.

Ticona, O. (2021). *Análisis comparativo de las Metodologías para Estimar el Caudal Ecológico en la Bocatoma del Brazo – Cuenca del Rio Camaná – Majes -Colca. Perú* (Tesis maestría Ecohidrología). Universidad Nacional de laPlata. Bueno Aires. Argentina. Recuperado el 20 enero de 2023, de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/41/browse?authority=http%3A%2F%2Fvoc.sedici.unlp.edu.ar%2Fnode%2F78040&type=author>

Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *ASME Journal of Applied Mechanics*, 18(3), 293-297.

World Wide Fund for Nature – WWF. (2010). *Economías bajas en carbono y sustentadas en el agua*. Colombia. Recuperado el 17 may de 2019, de <https://www.wwf.org.co/?197491/Economias-bajas-en-carbono-y-sustentadas-en-el-agua>**Contribuciones de los autores:**

Oscar Enmanuel Ticona Neyra: Pesquisa, revisão da bibliografia, análise dos dados e elaboração do texto.

Paola Liberalesso Dimpério: Revisão do texto e formatação.

Marcelo Lovato Brum: Revisão do texto e formatação.

Erickson Ricardo Ferminio da Silva: Revisão do texto e formatação.

Lorenzo Balbuena Maciel Martins: Revisão do texto e formatação.

Fernanda Júlia Gaspari: Assessoramento quanto a metodologia e técnica e contribuições conceituais.

Alexandre Swarowsky: Assessoramento quanto a metodologia e técnica e contribuições conceituais.