

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA BOCATOMA DEL BRAZO – CUENCA DEL RIO CAMANÁ – MAJES- COLCA. PERU

TESIS DE MAESTRÍA PRESENTADA POR
OSCAR ENMANUEL TICONA NEYRA

ANTE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS NATURALES Y MUSEO DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN ECOHIDROLOGÍA

DIRECTORA DE TESIS: Dra. Ing. Forestal Mg. Sc. Fernanda Julia Gaspari.

CO-DIRECTOR DE TESIS: Dr. Biólogo M.Sc. Armando Jacinto Arenazas Rodríguez.

La Plata, Buenos Aires, Octubre del 2021

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, cuya voluntad guía todo mi accionar.

A mis abuelos: Petronila, Estela, Rosa, Magdalena, Esmaro, Honorio y Benjamín, así como a mi tío Eduardo y a mi prima Ketty cuya energía siempre está presente en mí.

A mis padres Avilia y Oscar, mis hermanos Suriana y Aurelien así como a mis sobrinos Oscar y Maxime por todo su amor y apoyo.

A mi esposa Graciela, sin cuyo apoyo, amor, cariño y comprensión no hubiera conseguido lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

A mi Directora de Tesis, Dra. Ing. Forestal Mg. Sc. Fernanda Julia Gaspari, por su apoyo y asesoramiento con sus valiosos conocimientos para revisar el contenido de la Tesis.

A mi Co-Director, Dr. Biólogo M.Sc. Armando Jacinto Arenazas Rodríguez, por su ayuda y contribución en el desarrollo de la Tesis.

A los maestros de la carrera de Maestría en Ecohidrología por sus valiosos conocimientos, en mi formación académica de post grado.

A mis compañeros de la Maestría, por todo su apoyo desinteresado y su amistad en los años de cursada, quienes me hicieron sentir en familia.

A la Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA), por haberme brindando la información necesaria para poder desarrollar la Tesis.

Al Dr. Francisco Palomino García, así como al Dr. Ronal Zegarra quienes con su apoyo y amistad sincera me brindaron todas las facilidades necesarias.

A la Autoridad Autónoma de Majes (AUTODEMA) representada por el Ing. Napoleón Ocsa Flores por su apoyo, amistad y comprensión para poder realizar la tesis.

A mis queridos amigos: Alfredo Calcina, Hailert Gómez, Felix Sánchez, Berly Olartes y Rafael Larota quienes a pesar de la distancia siempre me dieron los ánimos y apoyo desinteresado para la culminación de mis estudios.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA BOCATOMA DEL BRAZO – CUENCA DEL RIO CAMANÁ – MAJES-COLCA. PERU

RESUMEN

La presente Tesis tiene por objetivo principal realizar un análisis comparativo entre diversos métodos hidrológicos para estimar el Caudal Ecológico en la Bocatoma El Brazo en la Cuenca del Rio Camaná-Majes-Colca, Perú. La legislación peruana en materia de recursos hídricos define al Caudal Ecológico como el 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. Existen diversas metodologías para estimar el Caudal Ecológico para un cuerpo natural de agua, en este caso se trata de un río que nace de los Andes peruanos y discurre hasta desembocar en la Hoya Hidrográfica del Pacífico. Para estimar el Caudal Ecológico para el tramo en estudio se analizaron diversos métodos hidrológicos empleando una serie histórica de 20 años de datos de caudales en el río Camaná-Majes-Colca. La fuente de información fue la Estación Hidrológica de Huatiapa, porque posee una serie de datos con suficiente consistencia considerando las coordinaciones efectuadas con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) que es la institución rectora que opera las Estaciones Hidrológicas. La especie indicadora para estimar el Caudal Ecológico es el Camarón de Río cuyo nombre científico es el *Cryphiops caementarius*, que presenta importancia económica debido a que se distribuye en grandes poblaciones en la cuenca, y por ello, su pesca es la principal actividad económica hidrobiológica regional, según el IMARPE (Instituto del Mar Peruano), además, dinamiza la economía de la Cuenca en estudio. Finalmente, es de resaltar, que la importancia de esta Tesis radica en que a la fecha, la Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA), no ha establecido o validado un método para estimar el Caudal Ecológico en cuencas del Perú, por lo cual, la metodología y resultados alcanzados en esta tesis aportará directrices de fácil manejo y aplicación; la cual pueda servir de guía para determinar el Caudal Ecológico en otros tramos en la cuenca en estudio y en cuencas con similares características geomorfológicas en el Perú.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to carry out a comparative analysis between various hydrological methods to estimate the Ecological Flow in the El Brazo Bocatoma in the Camaná-Majes-Colca River Basin, Peru. Peruvian legislation on water resources defines Ecological Flow as the volume of water that must be maintained in natural water sources for the protection or conservation of the ecosystems involved, the aesthetics of the landscape or other aspects of scientific or cultural interest. There are various methodologies to estimate the Ecological Flow for a natural body of water, in this case, it is a river that rises from the Peruvian Andes and flows until it ends at the Pacific River Basin. To estimate the Ecological Flow for the section under study, various hydrological methods were analyzed using a historical series of 20 years of flow data in the Camaná-Majes-Colca river. The source of information was the Huatiapa Hydrological Station because it has a series of data with sufficient consistency considering the

coordination carried out with the National Meteorology and Hydrology Service of Peru (SENAMHI), which is the governing institution that operates the Hydrological Stations. The indicator species to estimate 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, and therefore, its fishing is the main regional hydrobiological economic activity According to IMARPE (Institute of the Peruvian Sea), it also boosts the economy of the basin under study. Finally, it should be noted that the importance of this Thesis lies in the fact that to date, the National Water Authority of Peru (ANA) has not established or validated a method to estimate the Ecological Flow in Peruvian basins, therefore which, the methodology and results achieved in this thesis will provide guidelines for easy handling and application; which can serve as a guide to determine the Ecological Flow in other sections in the basin under study and in basins with similar geomorphological characteristics in Peru.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
	Descripción General de la Cuenca.....	12
	Aspectos ecológicos	15
	Enfoques integrales del caudal ecológico	18
	Fundamentos de la Elección del Tema.....	19
	Antecedentes	26
	Recursos Hídricos	27
2.	OBJETIVOS.....	29
	Objetivo General:	29
	Objetivos Específicos:.....	29
3.	MATERIALES Y METODOS.....	30
	Cálculo del Caudal Ecológico por Métodos Hidrológicos.....	30
	Weibull	30
	Método de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (Autoridad Nacional del Agua del Perú (DCPRH)).....	31
	Método del 10% (Método de Tennant o Montana).....	31
	Método de Rafael Heras.....	32
	Método Planteado	32
	Método de Simons y Henderson.....	33
	Método de Blech Altunin	34
	Método de Maning Strickler	34
	Método de Petis	35
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
	Cálculo del Caudal Ecológico por Métodos Hidrológicos.....	38
	Weibull	38
	Método de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (Autoridad Nacional del Agua del Perú (DCPRH)).....	39
	Método del 10% (Tennant o Montana).	40
	Método de Rafael Heras.....	41
	Método Planteado	41
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Camaná-Majes-Colca	13
Figura 1-2: Ubicación de la Estación Hidrológica en de la Cuenca Camaná-Majes-Colca.....	21
Figura 1-3: Ubicación de la Bocatoma del Brazo - Cuenca Camaná-Majes-Colca.....	24
Figura 1-4: Bocatoma El Brazo	24
Figura 1-5: Bocatoma El Brazo	25
Figura 1-6: Camarón de Rio.....	25
Figura 1-7: Sub-Cuencas Definidas por la Autoridad Nacional del Agua del Perú	28
Figura 4-1: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Exponencial del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado	47
Figura 4-2: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Lineal del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado	47
Figura 4-3: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Logarítmica del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado	48
Figura 4-4: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Polinómica del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado	48
Figura 4-5: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Potencial del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Conceptos y definiciones relacionadas con el caudal ambiental	6
Tabla 1-2. Método de Montana desarrollado por Tennat, 1976	9
Tabla 1-3. Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Camaná-Majes-Colca.....	13
Tabla 1-4: Características Geomorfológicas de la Cuenca Ocoña y	22
de la Cuenca Camaná-Majes-Colca	22
Tabla 3-1: Recomendación Práctica	36
Tabla 3-2: Métodos para Estimar el Caudal Ecológico	36
Tabla 3-3: Métodos para Estimar el Ancho de Cauce	37
Tabla 4-1: Persistencia al 95% de los Caudales Medios Mensuales (m ³ /s).....	39
Tabla 4-2: Caudal Ecológico por el Criterio de la DCPRH (m ³ /s)	40
Tabla 4-3: Caudal Ecológico por el Método del 10% (m ³ /s).....	40
Tabla 4-4: Caudal Ecológico por el Método de Rafael Heras (m ³ /s)	41
Tabla 4-5: Ancho de Cauce mensual	42
Tabla 4-6: Valores del Ancho de Cauce (m)	43
Tabla 4-7: Valores del Caudal Ecológico (m ³ /s) por el Método Planteado	44
Tabla 4-8: Valores del Caudal Ecológico (m ³ /s) estimados según metodologías propuestas.....	45
Tabla 4-9: Comparativo de los Resultados Obtenidos por el Método del 10% Respecto al Método Planteado	46

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA BOCATOMA DEL BRAZO – CUENCA DEL RIO CAMANÁ – MAJES-COLCA. PERU.

1. INTRODUCCIÓN

La legislación peruana en temas vinculados a la Gestión de los Recursos Hídricos (Ley N°29338) 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°).

En su Artículo 20°, establece que: *“Los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca, son órganos de la Autoridad Nacional del Agua, constituidos con la finalidad de lograr la participación activa y permanente de los gobiernos regionales, gobiernos locales, sociedad civil, organizaciones de usuarios de agua, comunidades campesinas, comunidades nativas y demás integrantes del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos que intervienen en la cuenca, con el objeto de participar en la planificación, coordinación y concertación para el aprovechamiento sostenible de recursos hídricos en sus respectivos ámbitos, mediante el Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca”*.

Asimismo, en el Artículo 32° Numeral 32.1, indica que: *“El Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca que cuenta con la conformidad del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca y aprobado por la Jefatura de la Autoridad Nacional del Agua...constituye instrumento público vinculante para la gestión de los recursos hídricos de la cuenca respectiva”*.

Por otro lado, en el Numeral 153.5 se da a conocer que: *“los caudales ecológicos se fijarán en los planes de gestión de los recursos hídricos en la cuenca”*.

Es de apreciar que, 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.

Se ha visto que normas de otros países como es el caso de la legislación española, de 2007, se define a los caudales ecológicos *como aquellos que mantienen sosteniblemente la función y estructura del ecosistema acuático y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado (potencial ecológico) en el río y en las aguas de transición. El objetivo del manejo es la recuperación o conservación de determinados aspectos del régimen natural de caudales, encargados de mantener adecuadas las condiciones del hábitat y de generar los procesos ecológicos, hidrológicos y geomorfológicos necesarios para conservar a largo plazo las comunidades biológicas en un estado previamente definido por un panel de expertos en conjunto con la sociedad y los políticos.*

En la literatura actual se encuentran sinónimos de caudales ambientales, tales como: “caudales de compensación”, “caudales de mantenimiento”, “caudales mínimos” y “caudales de reserva” que generan una alta indefinición, sobre todo cuando se trata de aplicarlos a trabajos multidisciplinarios. García de Jalón y González del Tánago (2006) sugieren el término “caudal ecológico” por tener connotaciones claras, tanto para el público en general como para los técnicos, políticos y gestores del agua.

Algunos autores definen los caudales ambientales como el agua que se deja correr en un ecosistema fluvial, o el caudal que se libera dentro de él, con el propósito específico de manejar la condición del ecosistema. La falla en el manejo de los caudales ha conducido al deterioro en la estructura y función (salud) de muchos ríos en el mundo. Gaviño (2007) considera que 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. Es decir, que los cambios originados en la especie dejan de ser irreversibles, y más bien dependen de la duración de los mismos y de la resiliencia ecológica de la especie. Por otro lado, define al caudal ecológico con un valor diferente al del caudal ambiental, ya que este último fija un umbral mínimo y/o máximo destinado a la satisfacción de las necesidades establecidas de manera ad-hoc por la sociedad.

Como se puede apreciar, hay que diferenciar el caudal ecológico del caudal ambiental ya que el ambiental es más un caudal más relacionado a la gestión integrada de los recursos hídricos, el cual incluye aspectos socioeconómicos, normativos, económicos y ambientales.

Para Castro Heredia y otros (2006) el Método Tennant también como método de 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.

Castro Heredia y otros (2006) mencionan que la Metodología de Simulación Hídrica y en específico la metodología Incremental para la Asignación de Caudales (Instream Flow Incremental Methodology -IFIM) fue desarrollada por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, es una metodología usada para evaluar los efectos de cambio de caudal en la estructura del canal, calidad de agua, temperatura y disponibilidad de microhábitat para algunas especies acuáticas. El desarrollo de esta metodología considera la integración de técnicas que involucran aspectos tan diversos como la ingeniería hidráulica y ambiental, la biología acuática, la ecología, las ciencias sociales y la química, entre otras. El IFIM está basado en las relaciones cuantitativas (obtenidas por simulación) entre los caudales que circulan y los parámetros físicos e hidráulicos que determinan el hábitat biológico

En la declaración de Brisbane, Australia (2007), durante el 10th International River Symposium and International Environmental Flows Conference, se acordó que el caudal

ambiental provee el flujo que sostiene a los ecosistemas de agua dulce y costeros en coexistencia con la agricultura, la industria y las ciudades. Tiene el objetivo de restaurar y mantener la integridad del ecosistema, los bienes y servicios que presta, así como la resiliencia de estos, puntos que deben evaluarse socialmente con la participación de equipos bien informados y científicamente sustentados.

García y Martínez (2008) 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. La construcción de un embalse o presa fluvial constituye una interferencia provocada por el hombre en los cauces de las corrientes superficiales. El bloqueo de la corriente que fluía libremente antes de la construcción del embalse, provoca modificaciones en el ambiente tales como transformaciones fisicoquímicas del agua, ecológicas (afectación de la dinámica de poblaciones animales y vegetales nativos de la zona; modificación del microclima propiciado por el embalse; alteración del hábitat acuático, que puede provocar el aislamiento geográfico de algunas especies residentes con la consecuente extinción de ciertos grupos de animales o vegetales acuáticos y terrestres adaptados a vivir y explotar estos hábitats), estéticas y socioeconómicas.

Según la WWF (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. El caudal ecológico concilia la demanda económica, social y ambiental del agua, reconoce que los bienes y servicios de las cuencas hidrológicas dependen de procesos físicos, biológicos y sociales, y que únicamente conservando el agua que éstos necesitan, se puede garantizar su provisión futura. En la práctica, para dicho autor, el caudal ecológico busca reproducir en alguna medida el régimen hidrológico natural, conservando los patrones estacionales de caudales mínimos y máximos, temporada de sequías y lluvias, respectivamente, su régimen de crecidas y tasas de cambio.

Estos componentes del régimen hidrológico natural determinan la dinámica de los ecosistemas acuáticos y su relación con los ecosistemas terrestres.

La Universidad de Quindío (2011), expresa que un caudal circulante por un cauce puede ser considerado ecológico si asegura el mantenimiento del patrimonio hidrobiológico y sociocultural del medio fluvial, de forma compatible con la necesidad de abastecimiento doméstico y de suministro agrícola e industrial. Además, deberá ser representativo de la variabilidad natural del régimen de caudales del río y habrá de contemplar el correcto funcionamiento de las diversas componentes asociadas al ecosistema fluvial, entre las que cabe resaltar la flora y fauna propias del mismo, la calidad físico-química de las aguas superficiales y subterráneas, el dinámico equilibrio geomorfológico del sistema o el conjunto de valores sociales, económicos, culturales y paisajístico del río. En este sentido, el referido caudal ecológico deberá estar acompañado de un conjunto de criterios e indicadores que constituyan programas de vigilancia y seguimiento de los requerimientos básicos definidos con anterioridad (Magdaleno, 2005). La determinación de un caudal ecológico requiere la adopción de diferentes objetivos y escenarios que ayuden a los gestores a decidir sobre el

umbral mínimo requerido para el correcto funcionamiento de sistema (Dyson *et al.*, 2003). Ante el gran número de procesos integrados en el medio fluvial, se requiere la intervención de equipos multidisciplinares y de representantes de los sectores implicados en su gestión, con el fin de consensuar un régimen de caudales ambientales que sea comprendido y asumido por todos ellos y, por tanto, y en último término, por el conjunto de la sociedad (King *et al.*, 1998).

Para Cabra y Corradine (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 los mismos, es decir, en el régimen concesional español, se entiende como aquél que asegura el mantenimiento del patrimonio hidrobiológico y sociocultural del medio fluvial compatible con la necesidad de abastecimiento doméstico y de suministro agrícola e industrial, y es considerado por la ley de aguas como una restricción al uso, tiene en el caudal mínimo un antecedente determinante con el que comparte la esencia de compatibilizar la utilización del recurso y su propia conservación; comprobándose además que, en ambos casos, su existencia es determinada en los textos legales y su cumplimiento es condición limitante al aprovechamiento de las aguas, lo que obliga a otorgar la concesión sobre los caudales excedentes al caudal mínimo en origen y al caudal ecológico en la actualidad.

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.

Caissie y otros (2014) 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 Alcoser (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 al método Tennant quien los identificó como niveles recomendados para la vida acuática.

Para Gonzales y Banderas (2015), el manejo de los recursos asociados con el agua bajo el esquema de desarrollo sostenible del ambiente es un problema complejo para todas las naciones ricas o pobres, pues implica un reto técnico para enfrentar dificultades de origen social, económico y político.

Sobre ello, considerar al ambiente como un usuario del recurso hídrico, dentro de la cuenca hidrográfica trae consigo una dificultad, puesto que compete con los otros usos ya establecidos, como es el caso del poblacional, agrario, energético, minero, etc.

Gonzales y Banderas (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.

Para Gallo Velez (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, por otro lado presenta un resumen de las diferentes definiciones encontradas en la literatura, tales como se expresa en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Conceptos y definiciones relacionadas con el caudal ambiental.

Denominación	Concepto	Referencia
Caudal Ambiental	Es el régimen hídrico que se establece en un río, humedal o zona costera para sustentar ecosistemas y sus beneficios donde hay usos del agua que compiten entre sí y donde los caudales están regulados. El caudal ambiental es usado para valorar cuánta agua puede quitársele al río sin causar un nivel inaceptable de degradación del ecosistema ribereño en el caso de ríos gravemente alterados. Se considera caudal ambiental la cantidad de agua necesaria para restablecer el río y rehabilitar el ecosistema hasta un estado o condición requerida.	King y Louw (1998); Palau (1994); Dyson et al. (2003)
Régimen de Caudal Ambiental	Es aquel que permite cumplir con una condición establecida del ecosistema ribereño. En él se detallan caudales específicos en magnitud, periodicidad, frecuencia y duración, tanto de caudales basales como de avenidas y crecientes en la escala de variabilidad intra e interanual, todo ello diseñado para mantener en funcionamiento todos los componentes del ecosistema.	King et al. (1999)
Caudal Ecológico Mínimo	Caudal que restringe el uso durante las estaciones de caudales bajos y mantienen la vida en el río. No aporta una solución ecológica. Se calcula de forma directa y arbitraria, producto de un pacto más que de una formulación científica.	King et al. (1999); Palau (2003)
Caudal de Mantenimiento	Caudal requerido para mantener todas las funciones ecosistémicas del río, incluyendo la incorporación continua y balanceada de las especies acuáticas y riparias. Es un caudal calculado y dirigido hacia la conservación de los valores bióticos del ecosistema fluvial.	APROMA (2000)

Denominación	Concepto	Referencia
Caudal de Acondicionamiento	Se refiere a un caudal que puede establecerse como complemento de caudales mínimos o de mantenimiento, para una finalidad concreta, ajena a la conservación de valores bióticos del ecosistema fluvial y referida a aspectos abióticos (dilución, paisaje, usos recreativos, etc.).	Palau (2003)
Caudal Ecológico	Caudal mínimo necesario en una fuente o curso fluvial, para preservar la conservación de los ecosistemas fluviales actuales, en atención a los usos de agua comprometidos, a los requerimientos físicos de la corriente fluvial, para mantener su estabilidad y cumplir sus funciones tales como, dilución de contaminantes, conducción de sólidos, recarga de acuíferos y mantenimientos de las características paisajísticas del medio.	Ormazabal (2004)
Caudal de Compensación	Caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido.	UNESCO (s.f.)

Fuente: “Consideraciones para la Aplicación del Método Hidráulico R2CROSS Para Estimar Caudales Ecológicos en Colombia” (Gallo Velez 2016).

El mismo autor, establece una clasificación de enfoques metodológicos para la estimación de caudales ecológicos, tales como:

- a) **Hidrológicos:** Se basan en el uso de información hidrológica en forma de series históricas de caudal, para la formulación de recomendaciones de caudal ambiental. Son fáciles de aplicar dado que requieren poco o nulo trabajo de campo. Por eso, también son clasificadas como metodologías de escritorio.
- b) **Hidráulica:** También pueden ser denominadas metodologías de valoración hidráulica. Utilizan las relaciones entre el caudal y algunas características del cauce. Son una mejora de los métodos hidrológicos dado que se valen de las mediciones en campo y son afectadas por las variaciones de caudal propias del río. Sin embargo, se basan en las características físicas del cauce omitiendo las necesidades de la biota.
- c) **Simulación de Hábitat:** Estos métodos también son conocidos como de tercera generación dado que su enfoque busca reunir series históricas de caudal, parámetros morfo-hidráulicos de diferentes secciones, procesos físico-químicos e incluso algunas variables biológicas. Se considera que los resultados obtenidos a partir de estas metodologías se adaptan de mejor manera a las condiciones propias de cada cauce, sin embargo, la aplicación de estos métodos resulta más compleja y la recolección de datos requiere de periodos más extensos.
- d) **Holística:** Estas metodologías recurren a paneles de expertos multidisciplinarios para identificar aquellas características esenciales del río que pueden generar un impacto ecológico y son incorporadas dentro de un régimen de flujo modificado. De esta forma podrá mantenerse la biota y la funcionalidad del río. Estos métodos, generalmente, se realizan desde dos aproximaciones: Bottom- up y Top-down.

Según Pantoja Valencia (2017) indica las denominaciones y conceptos de caudal ambiental dentro de lo que se puede destacar lo siguiente:

- a) **Caudal ecológico mínimo** (Sudáfrica – España): Es el caudal que restringe el uso durante las estaciones de caudales bajos y que mantiene la vida en el río. No aportan una solución ecológica. Se calculan de forma directa y arbitraria, producto de un pacto más que de una formulación.
- b) **Caudal ecológico** (Chile): Caudal mínimo necesario en una fuente o curso fluvial, para preservar la conservación de los ecosistemas fluviales actuales, en atención a los usos de agua, comprometidos, a los requerimientos físicos de la corriente fluvial, para mantener su estabilidad y cumplir sus funciones tales como, dilución de contaminantes, conducción de sólidos, recarga de acuíferos y mantenimientos de las características paisajísticas del medio.
- c) **Caudal de mantenimiento** (España): Régimen del caudal que mantiene todas las funciones ecosistémicas del río, incluyendo el reclutamiento continuo y balanceado de las especies acuáticas y ribereñas. Es un caudal calculado para y dirigido hacia, la conservación de los valores bióticos del ecosistema fluvial.
- d) **Caudal ambiental** (Sudáfrica – España): Régimen modificado que se establece en un río, humedal o zona costera para sustentar ecosistemas y sus beneficios donde hay empleos de agua que compiten entre sí y donde los caudales están regulados. El caudal ambiental es usado para valorar cuánta agua puede quitársele al río sin causar un nivel inaceptable de degradación del ecosistema ribereño, en caso de ríos gravemente alterados, se considera caudal ambiental a la cantidad de agua necesaria para establecer el río y rehabilitar el ecosistema hasta un estado o condición requerida
- e) **Caudal de acondicionamiento** (España): Se refiere al caudal que puede establecerse como complemento de caudales mínimos o de mantenimiento, para una finalidad concreta, ajena a la conservación de valores bióticos del ecosistema fluvial y referida a aspectos abióticos (dilución, paisaje, usos recreativos, etc).
- f) **Caudal de compensación**: Caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido.
- g) **Régimen de caudal ambiental** (Sudáfrica): Es aquel que permite cumplir con una condición establecida del ecosistema ribereño. En él se detalla caudales específicos en magnitud, periodicidad, frecuencia y duración, tanto de caudales basales como de avenidas y crecientes en la escala de variabilidad intra e interanual, todo ello diseñado para mantener en funcionamiento todos los componentes del ecosistema para una condición específica.

La autora, indica una clasificación de metodologías para determinar el caudal ambiental tales como:

- a) **Metodología Hidrológica**: Las metodologías con enfoque hidrológico constituyen las primeras metodologías propuestas para la estimación de caudales ecológicos y fueron desarrolladas principalmente en Estados Unidos durante los setenta y los ochenta. Nacieron con el objetivo principal de garantizar la “conservación de especies de importancia económica y en los ríos de tipo permanente con variación hidrológica estacional escasa”. Estas asumen que el desempeño de los ecosistemas es de acuerdo con la adaptación de las “variaciones naturales del régimen hídrico de una corriente y a sus tendencias históricas, y que, por lo tanto, el estudio hidrológico de

series de caudales ayuda en la recomendación de un régimen de caudales ambientales”. En otras palabras, las metodologías que conforman este bloque se basan en registros o reseñas históricas de cuerpos acuáticos, con una compilación de datos que pueden ser diarios, mensuales o anuales, que son los que van a suministrar la información suficiente para realizar la aplicación que dará como resultado la porción recomendable de caudal que es necesario reservar para preservar los ecosistemas. La aplicación de estas metodologías dado a la fuente en la que se basan (registros históricos) se han considerado una de las más populares para su empleo; aproximadamente un 30% de la totalidad de las metodologías existentes se encuentran categorizadas dentro de este enfoque. Se encarga de monitorear los regímenes de caudal de un río, a través de la evaluación de sus componentes definidos en: magnitud, frecuencia, duración, oportunidad y tasa de cambio, los cuales influyen directamente en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos y ribereños. Su desventaja consiste en que se requiere de registros históricos para analizar la probabilidad de ocurrencia de caudales altos o bajos, o caudales medios, expresados en un porcentaje fijo capaz de mantener las características del ecosistema fluvial.

Dentro de dichos métodos, 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 (Tabla 1-2).

Tabla 1-2. Método de Montana desarrollado por Tennat, 1976.

Descripción cualitativa	Caudales base recomendados
Crecidas ó máximos	200% del caudal promedio
Óptimos	>60%
Sobresalientes	40%
Excelentes	30%
Buenos	20%
Mínimos o degradados	10%

Fuente: “Estimación de Caudales Ecológicos Mediante Métodos Hidrológicos, Hidráulicos y Ecológicos En La Quebrada El Conejo (Mocoa -Putumayo) (Pantoja Valencia 2017).

Dado que este método es tan popular y sencillo de aplicar, varios investigadores han buscado la forma de modificarlo para poder integrarlo en el cálculo de caudales de otras regiones con características distintas a las del país de origen. Tal es el caso del Estado de México, en donde bajo esta metodología modificada se ha logrado determinar caudales como un rubro dentro de las Evaluaciones de Impacto Ambiental para proyectos hidráulicos como represas.

- b) **Metodología de Valoración Hidráulica:** El enfoque hidráulico también conocido como enfoque de valoración hidráulica, ha sido visto como una versión mejorada de las técnicas hidrológicas. Las metodologías contempladas en esta clasificación se desarrollaron y fueron utilizadas principalmente para “recomendar las necesidades de caudal parcial de las especies piscícolas en los Estados Unidos”.
- Mediante estas metodologías se busca analizar la variación de diferentes parámetros hidráulicos en secciones transversales identificadas como críticas y limitantes de la capacidad biogénica del tramo fluvial. Estas metodologías tienen como objetivo principal establecer relaciones entre el caudal y alguna característica o parámetro del cauce. Por lo general los factores que se evalúan durante períodos de tiempo son los siguientes: perímetro mojado, velocidad y profundidad máxima. Se caracteriza por evaluar de forma detallada el hábitat hidráulico de un tramo específico, a través del comportamiento del régimen de caudales y aspectos geomorfológicos de la distribución de los procesos físicos en el río.
- c) **Metodología Hidrobiológica:** El enfoque hidrobiológico es también conocido como Método de Simulación del Hábitat. Las metodologías desarrolladas conforme a este enfoque, junto a las del enfoque hidrológico, son las más usadas a nivel internacional para la determinación del caudal ambiental. Se fundamenta en la relación entre el caudal y la hidráulica, pero que además analiza de forma detallada cantidad e idoneidad de hábitat físico disponible para una biota objeto y para diferentes regímenes de flujo, además de vincular información hidrológica, hidráulica y biológica. Este enfoque tiene como propósito estudiar el comportamiento de una o más especies (generalmente piscícolas), en relación con las características del medio de un río en particular, para de esta manera, obtener datos fidedignos que le ayuden a determinar el caudal ambiental de éste. Es decir, “se basan en las relaciones cuantitativas entre los caudales circulantes, los parámetros físicos que determinan el hábitat y los requerimientos del mismo de determinadas especies”. Para comprender un poco mejor el enfoque hidrobiológico, es necesario conocer el concepto de “curvas de idoneidad o preferencia”. Mediante estas curvas, son cuantificadas las variables que se investigan en el proceso de determinación del caudal ambiental. De manera simplificada, podemos decir que las curvas de idoneidad son funciones matemáticas que intentan representar la idoneidad de una o más variables del micro hábitat para la vida de una especie, en una etapa de desarrollo o con un intervalo de tamaño. Esta función puede ser valorada entre 0 y 1 de acuerdo con el nivel de idoneidad que corresponda.
- El enfoque hidrobiológico es conformado por varias metodologías, algunas de las cuales también han sido desarrolladas dentro de otros enfoques, como el hidráulico o hidrológico.
- d) **Metodología Holística:** El enfoque holístico es considerado uno de los más jóvenes, ya que se desarrolló en la década de 1990. Por estos años se empieza a ver la necesidad de crear una metodología que se preocupe por mantener el ecosistema en su totalidad y no sólo algunos de sus componentes. En este mismo sentido, se incluyen aspectos socioeconómicos con el fin de determinar el caudal ambiental abarcando todas las áreas que lo afectan y son afectadas por éste. Es decir, este enfoque tiene una visión global del río, dentro de la cual se considera que los caudales son el soporte básico para todos los elementos y/o propiedades del ecosistema fluvial.
- El objetivo principal de este enfoque radica en identificar todas aquellas características esenciales del régimen hidrológico, para lo cual requiere de información extensa,

registros históricos de caudales, variables hidráulicas, etc. El siguiente paso es puntualizar cuál es la influencia que tienen esos aspectos sobre las características geomorfológicas y ecológicas del ecosistema ribereño, valorando cada particularidad del flujo, para de esta manera poder desarrollar un régimen modificado de caudal.

Para Meza Rodríguez y otros (2017) existen diferentes métodos para el cálculo del régimen de caudal ecológico, los métodos hidrológicos se basan en el análisis de series históricas de aforos; los métodos hidráulicos se basan en el entendimiento de la morfología del cauce; los métodos hidrobiológicos permiten realizar simulaciones de hábitat bajo diferentes condiciones de caudal y utilizan una especie objetivo y finalmente, los métodos holísticos analizan la integración del conjunto de procesos biológicos, físicos y químicos en un sistema fluvial a través de su organización estructural, funcional y de distribución. Diversas naciones utilizan diferentes métodos para establecer caudales ecológicos. En Latinoamérica, Chile utiliza el 10% del caudal medio anual como un estimador del caudal ecológico; en Brasil, se utilizan primordialmente los métodos de tipo hidrológico simple como son el $7Q_{10}$ y el método de curvas de permanencia.

Para Ortiz Méndez (2018) dio a conocer definiciones más o menos extensivas del Caudal Ecológico Mínimo, que intentan recoger las cualidades distintivas del instrumento para una aplicación pragmática por la administración, algunas de estas se reproducen a continuación:

- a) “El agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce de ríos u otros cauces de aguas superficiales. Esto es la cantidad mínima de agua que debe fluir por un cauce de manera de asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático.
- b) “Caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido.
- c) “El caudal mínimo que debieran tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes preservando la calidad ecológica”.
- d) “Caudal que debe mantenerse en cada sector hidrogeográfico, de tal manera que los efectos abióticos (profundidad, velocidad de la corriente, turbulencia, calidad del agua, ancho mojado, etc.), producidos por la disminución del caudal no alteren significativamente la dinámica del ecosistema permitiendo mantener el objetivo ambiental según el estado de referencia que se aplique”.
- e) Una técnica mediante la que se persigue el mantenimiento de una corriente circulante mínima en los ríos”.

La conclusión de todos ellos es que se trata de un acto administrativo, que implica decisión pública de establecer una corriente que no debe ser afectada por los derechos de aprovechamiento otorgados en la fuente.

Según Brisbane Declaration (2018), los Caudales Ecológicos describen la cantidad, el momento y la cualidad de los flujos y niveles de agua dulce necesarios para sustentar los ecosistemas acuáticos los cuales a su vez sustentan las culturas humanas, economías, medios de subsistencia sustentables y el bien estar. Asimismo, los ecosistemas acuáticos incluyen ríos, arroyos, manantiales, nacientes, llanuras de inundación y otros humedales, lagos, cuerpos de agua costeros, incluyendo lagunas y estuarios y ecosistemas dependientes de aguas subterráneas.

En cuanto a las normativas actualizadas sobre el Caudal Ecológico en Perú, se tiene que la Autoridad Nacional del Agua del Perú (2019) emitió en diciembre del 2019 la Resolución Jefatural N° 267-2019-ANA la misma que aprobó los lineamientos generales para determinar caudales ecológicos, sin embargo dichos lineamientos son posteriores a la aprobación del plan de tesis que derivó en la elaboración de la presente tesis, sin embargo ello puede ser empleado para investigaciones posteriores sobre el tema.

El manejo del agua incluye las fuentes superficiales y subsuperficiales destinadas a los usos urbano, agrícola, energético, industrial y extracción intensiva; así como su protección a través del control de la contaminación y de malezas, el manejo de residuos y la restauración de ecosistemas degradados (lagos, humedales, ríos). La protección de los recursos acuáticos es un factor esencial en el desarrollo sustentable de los diferentes usuarios y en el beneficio y desarrollo del sector social y económico. En todo el mundo, los ríos se modifican con la construcción de presas para el control de avenidas; de extracciones para el suministro hidroeléctrico, agrícola y urbano, y para mantener el caudal adecuado para la navegación y el drenaje. Tal intervención genera impactos significativos que generalmente reducen el caudal total de los ríos, afectando su estacionalidad, magnitud y periodicidad. En muchos casos, afectan adversamente a los servicios hidrológicos y a la funcionalidad del ecosistema, lo que incrementa la vulnerabilidad de las poblaciones (especialmente de la gente pobre) que dependen directamente de sus servicios. Actualmente, se reconoce que las modificaciones tienen que balancearse entre los servicios ecológicos dependientes y el abastecimiento esencial de agua. Los caudales necesarios para mantener los servicios son llamados “caudales ambientales”.

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 la presente tesis 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 la presente tesis, 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 1-1).

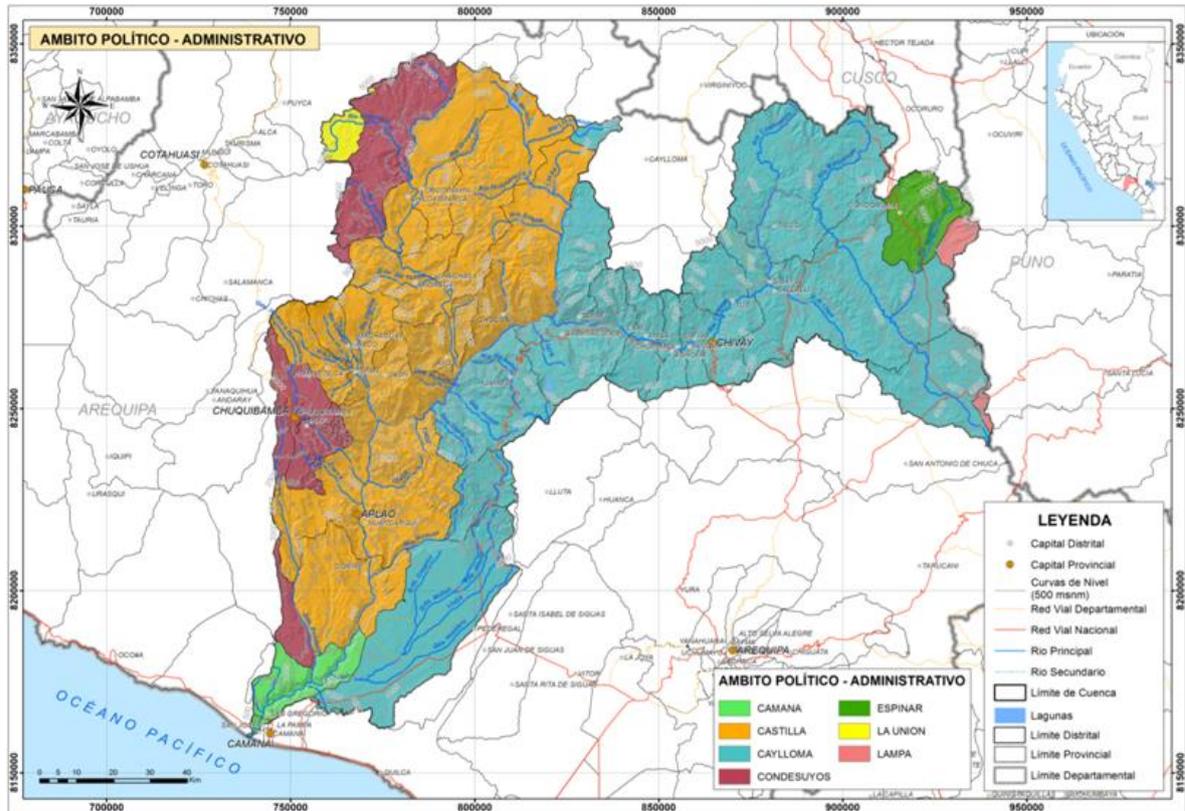


Figura 1-1: Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Camaná-Majes-Colca

Fuente: Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Camaná-Majes-Colca (ANA-INCLAM 2015)

La cuenca Camaná-Majes-Colca (unidad hidrográfica 134) tiene una extensión de 17152,73 km² y se ubica en el Sur de la costa del Perú, en la vertiente del Pacífico, entre las coordenadas geográficas que se indican en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: 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"
		Latitud Sur	14° 55' 50"	16° 37' 59"
Coordenadas UTM Zona 18	Horizontal WGS 84	Metros Este	737 940	821 990
		Metros Norte	8 159 678	8 347 644
Altitud	Vertical Nivel Medio del Mar	msnm	0	6 398

Fuente: Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Camaná-Majes-Colca (ANA-INCLAM 2015)

La Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA) es el ente rector y máxima Autoridad técnico-normativa en la Gestión de los Recursos Hídricos del Perú. Para ejercer sus funciones está descentralizada en Autoridades Administrativas del Agua (AAA) y cada una de ellas, a su vez, en Administraciones Locales de Agua (ALA). En la zona en estudio, se encuentran 03 Administraciones Locales del Agua (ALA), todas ellas pertenecientes a la Autoridad Administrativa del Agua I Caplina-Ocoña: la ALA Chili, para la parte alta de la cuenca que conforma el sistema regulado Chili, con una superficie de 897.45 km²; la Administración Local de Agua Colca-Siguas-Chivay, para la parte media de la cuenca, incluyendo el sistema regulado Colca, la margen izquierda del río, y la quebrada Molles, con una superficie de 7 350.09 km²; y la Administración Local de Agua Camaná-Majes, para la margen derecha de la parte media, incluyendo las subcuencas Molloco, Ayo, Capiza, así como la parte baja, con una superficie de 8 905.19 km².

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 (ámbito del estudio de la presente tesis). 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 – INCLAM Perú, 2015).

Se tiene que un 50.2% de la superficie de la cuenca posee suelos aptos para los pastos de montaña, el 37.1% de la superficie total es improductiva, por tratarse de terrenos con suelos inexistentes o poco desarrollados que impiden las explotaciones agrícolas o ganaderas. Por otro lado, las tierras cultivables representan apenas el 6% del total de la superficie en la cuenca.

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 – INCLAM 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 camarón de río. 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 – INCLAM Perú, 2015)

Aspectos ecológicos

Los ecólogos interesados en la biodiversidad fluvial reconocen que para mantener las condiciones esenciales de salud y servicios que proveen los ríos, se requiere imitar la variabilidad natural de los caudales, tomando en consideración la magnitud, frecuencia, periodicidad, duración y tasa de cambio de los eventos de flujo en los ríos. Al respecto, la legislación peruana, en lo que concierne al Caudal Ecológico, considera dichos criterios y con mayor énfasis en lo que respecta al método Hidrológico -Hidráulico.

Los efectos ecológicos de la alteración hidrológica de los ríos con sus implicaciones socioeconómicas a escala global, como el aislamiento genético por la fragmentación del hábitat, el decremento de la biodiversidad y el abatimiento de las pesquerías y los servicios ecológicos, están documentados con abundantes discusiones detalladas e irrefutables. Es así, que, en el tramo de la cuenca hidrográfica seleccionada para desarrollar la tesis, existe la importancia económica de la caza de la especie indicadora como es el caso del Camarón de Río cuyo nombre científico es *Cryphiops caementarius*.

El informe de la Comisión Mundial de Presas identifica como prioridades la conservación de los ríos y los medios de subsistencia, así como reconocer derechos y compartir beneficios. Esto quiere decir que una presa puede y debe proveer el caudal ambiental y, por lo tanto, debe diseñarse, modificarse y operarse consecuentemente. Si el tema de los caudales ambientales se deja para más tarde, a menudo los problemas se agravarán y las soluciones conllevarán costos económicos y sociales más elevados. Con el impacto creciente sobre la biota de la ribera por la proliferación de las presas y la regulación del caudal, se han generado más de doscientos métodos para calcular el caudal ambiental con bases científicas, mismos que pueden agruparse en cuatro categorías: reglas de tipo hidrológico, métodos hidráulicos, métodos de simulación del hábitat y metodologías holísticas.

Es preciso generar un mejor régimen de gestión que logre el equilibrio óptimo entre los diferentes usos y, en consecuencia, garantice la longevidad del ecosistema. Dado el uso excesivo de recursos hídricos en todo el mundo y el deterioro consiguiente de los ecosistemas y de sus servicios, los caudales ambientales no son un lujo, sino una parte esencial de la gestión hídrica moderna. Es una orientación que merece que se aplique ampliamente. Sin embargo, se necesitan vías legales y administrativas claras para proteger el flujo de agua antes de que las partes interesadas estén dispuestas a comprometerse y de que las agencias financien proyectos de caudal ambiental. No habrá intentos serios de gestión de caudal ambiental hasta que no se tomen decisiones políticas claras en la esfera apropiada de gobierno.

Es así como en Perú hasta antes de la promulgación de la Ley de Recursos Hídricos (2009), no se contemplaba en la gestión ni en la normatividad nacional el tema del Caudal Ecológico.

Determinar un caudal ambiental requiere la integración de disciplinas como la ingeniería, el derecho, la ecología, la economía, la hidrología, la comunicación y las ciencias políticas. También exige negociaciones entre las partes para salvar los obstáculos que generen los intereses que compiten por el empleo del agua, en especial en las cuencas donde la competencia ya es grande.

Para lograr el impulso necesario y determinar caudales ambientales, se debe involucrar a muchos actores diferentes, desde el nivel gubernamental más elevado, hasta la comunidad y negocios locales. Una estrategia exitosa implicaría trabajar con la mayor cantidad posible de actores y de grupos interesados y adaptar tácticas a lo largo de las negociaciones, aunque a los actores les tome algún tiempo entender que el caudal ambiental es necesario tanto para las personas como para la naturaleza.

Es de precisar, que, en el tramo de la cuenca seleccionado para realizar la tesis, coexisten diversos usos y usuarios como es el caso del uso poblacional (que abastece a la ciudad de Camaná, una de las principales de la Región Arequipa); el uso agrario cuyo operador es la Junta de Usuarios Camaná, el uso acuícola con la caza del Camarón de Río (especialmente indicadora para desarrollar la tesis) el mismo que es artesanal, pero de gran importancia económica para la población asentada en dicho tramo.

Los humedales, estuarios y ecosistemas marinos próximos a la costa brindan una gran variedad de beneficios a las personas. Estos incluyen “bienes” como agua potable, peces, “servicios” como purificación de agua, mitigación de inundaciones y oportunidades recreativas. Los ríos “sanos” y los ecosistemas conexos también tienen un valor intrínseco para las personas, valor que se puede expresar en función del significado cultural, en particular en el caso de las culturas indígenas.

Es importante distinguir entre la cantidad del agua que se necesita para sustentar un ecosistema en un estado cercano al prístino, y la que podría eventualmente asignarse al mismo luego de un proceso de evaluación ambiental, social y económico. Este último recibe el nombre de “caudal ambiental” y será un caudal que sustentará al ecosistema en un estado menos que prístino. Se podría pensar que se necesitaría todo el caudal natural, en su pauta natural de caudales altos y bajos, para mantener un ecosistema casi prístino.

En el otro extremo, la ausencia prolongada de caudales pone en riesgo la existencia misma de los ecosistemas dependientes y, por lo tanto, las vidas, los medios de subsistencia y la seguridad de las comunidades e industrias río abajo. La finalidad del caudal ambiental consiste en establecer un régimen de flujo adecuado en cantidad, calidad y regularidad para sustentar la integridad del río y otros ecosistemas acuáticos. Esto no significa que las ventajas ecológicas sean necesariamente el único resultado, o inclusive primario, de un programa de caudal ambiental.

Este programa deberá lograr un equilibrio entre asignaciones de agua para satisfacer las necesidades ecológicas y las otras necesidades de utilización de la misma, como la hidroeléctrica, la irrigación, el agua potable o la recreación. Desarrollar un programa de caudal ambiental, por tanto, significa reconocer los valores centrales sobre los que basarán las decisiones, determinando qué resultados se buscan y definiendo qué trueques conllevarán.

Es así como los denominados “arreglos” o acuerdos institucionales son necesarios a la hora de fijar y monitorear el uso del caudal ecológico, para lo cual la normatividad peruana ha establecido en el ámbito de cada cuenca hidrográfica, el uso de un instrumento de gestión

el cual es el Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica (PADH) en el mismo que se encuentra inserto el caudal ecológico con todos los demás usos dentro de la cuenca.

Para establecer un caudal ambiental, se necesita identificar objetivos claros en cuanto al uso de la corriente y establecer escenarios para la extracción y utilización. Del mismo modo que establecer caudales ambientales es una cuestión de valores, así también fijar objetivos fluviales es en gran parte un proceso sociopolítico. Por consiguiente, un proceso exitoso debe incluir representantes de diferentes grupos de interés, así como científicos y expertos. Todos los que participen deben poseer una comprensión básica de lo que implica establecer y gestionar caudales ambientales.

Para Gonzales y Banderas (2015), en sentido físico, significa examinar el ecosistema desde sus fuentes hasta los entornos costero y estuarino, incluyendo sus humedales, llanuras de inundación y aguas subterráneas conexas. En cuanto a ética, significa tomar en cuenta valores ambientales, económicos, sociales y culturales con relación al sistema total. Debe considerarse una amplia gama de resultados para su inclusión en un programa de caudal ambiental, desde la protección de la naturaleza hasta la satisfacción de las necesidades de las industrias y las personas.

En un sistema donde se ha asignado agua en exceso para consumo humano, podría establecerse un caudal ambiental para conseguir que los ecosistemas funcionen lo suficientemente bien para proporcionar una base sostenible de recursos naturales para las necesidades presentes y futuras de consumo. En caso de que se haya comprometido en demasía y gravemente un sistema, y los valores no permiten una suficiente reasignación de recursos para restaurarlo todo, se pueden escoger ciertos tramos de río o sitios de humedales para protegerlos con asignaciones específicas. No se puede subestimar el precio por no proporcionar caudales ambientales. Resulta cada vez más claro que, a mediano y largo plazos, no satisfacer las necesidades del caudal ambiental puede tener consecuencias desastrosas para muchos usuarios del río. Todos perdemos si no gestionamos caudales ambientales adecuados. No son la única característica de un sistema fluvial íntegro. Hay otros requisitos para satisfacer las necesidades estructurales y funcionales de los ríos, como disminuir la contaminación y controlar actividades como la pesca y la recreación.

Como se puede apreciar, es importante tomar en cuenta los beneficios obtenidos a partir de los servicios ecosistémicos brindados a partir del establecimiento del caudal ecológico, más aún si se considera las peculiaridades del tramo de la cuenca que se ha seleccionado, en donde se interrelacionan usos de vital importancia para la cuenca Camaná-Majes-Colca.

A medida que se monitoreen y evalúen las respuestas al caudal ambiental de plantas, animales, recursos y personas, quizá haya que modificarlo. Este proceso se conoce como gestión adaptable y forma parte esencial de los trueques que conlleva la definición y gestión del caudal ambiental. La mayoría de los ecosistemas fluviales se gestionan en mayor o menor grado, y se acepta que la extracción de agua para abastecimiento público, irrigación y procesos industriales es necesaria para la supervivencia y desarrollo humanos.

No existe un método universal para evaluar el caudal ambiental. Cada método, enfoque o marco resultará adecuado solo para un conjunto de circunstancias particulares. Entre los criterios para escoger un método, enfoque o marco específico está la clase de

problema (extracción, presa, plan de derrame fluvial, etc.), competencia, tiempo y dinero disponibles, así como el marco legislativo dentro del cual establecer caudales.

No obstante, la existencia de más de doscientos métodos para la determinación de los caudales ambientales, hasta ahora ninguno ha sido aplicado a escala regional para el manejo de los recursos acuáticos.

En esta tesis no se ha considerado la metodología de Simulación de Habitat por no haber sido contemplado en el Plan de Tesis aprobado por el Comité Académico, lo cual no inhibe que sea motivo de un futuro estudio complementario.

Diversos autores indican que, en el caso del método Tennant (1976) recomendó un caudal mínimo del 10% del caudal medio anual para mantener un hábitat de supervivencia a corto plazo para la biota acuática.

Es por ello que, en la presente tesis, se ha considerado el método planteado por el autor para efectuar la respectiva comparación con las diversas metodologías hidrológicas, considerando que se posee una información más que consistente en cuanto a los datos hidrológicos en el tramo de la cuenca en estudio.

Enfoques integrales del caudal ecológico

Los enfoques integrales utilizan equipos de expertos e incorporan la participación de las partes involucradas, incluyendo los aspectos científicos. Los métodos integrales tienen la ventaja de abarcar la totalidad del sistema hidrológico-ecológico partes interesadas. La desventaja es el alto costo de la recopilación de datos relevantes, aunque sale más caro no determinarlos y analizarlos científicamente. La evaluación del caudal ambiental es un tema especializado y, por ello, debe por necesidad involucrar a expertos. Rara vez se dispone de datos suficientes como para que alguien que no es experto aplique de manera plena un método objetivo integrado en una situación específica. El enfoque de equipo reconoce que la evaluación del caudal ambiental es un asunto multidisciplinario, que requiere insumos de una amplia gama de áreas especializadas.

Es por ello, que 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.

La aplicación de cualquier metodología de caudal ambiental requiere del establecimiento de un programa nacional y regional de recopilación de datos que debe incluir mediciones de hidrología (caudales fluviales), hidráulicas (nivel de agua y sección transversal de ríos) y ecología (especies presentes, ubicación y relaciones con el caudal) en una amplia gama de sitios, de tal manera que se abarquen en forma representativa los diferentes biotopos y su situación nacional y regional.

En esta tesis, se contempla la correlación entre los métodos hidrológicos respecto al método planteado en el cual se ponderan variables favorables para la especie indicadora

(Camarón de Río) como es el caso de la velocidad de la corriente, profundidad y ancho de cauce del tramo del río.

La planificación a escala regional involucra la evaluación de caudales ambientales en toda la cuenca fluvial. Dicha evaluación puede comenzar con el empleo de cuadros de consulta para identificar sitios críticos. Luego, lo más apropiado sería realizar un inventario de las características climatológicas y fisiográficas de la región. Luego, una investigación más detallada bajo el título probable de “evaluación de impacto” que podría incluir estudios de tipos de hábitat. En muchos casos, la evaluación implica el impacto y su mitigación, dadas las modificaciones específicas del cauce, tales como presas o extracciones importantes.

El monitoreo de la performance del caudal ecológico estimado es importante para de esta manera verificar su aplicabilidad y, de ser el caso, efectuar los ajustes necesarios para de esta manera asegurar su sostenibilidad.

Restaurar es “restablecer la estructura y función de un ecosistema” a su estado más o menos natural. En la práctica, no resulta posible una restauración completa por la presencia de presas, cuando las extracciones son importantes, o por los desarrollos en las llanuras de inundación. En consecuencia, la restauración se utiliza en el sentido de devolverle al río o tramo de río un estado preindustrial reciente.

Todas las mejoras a los métodos van acompañadas de una mayor complejidad. Se espera que los nuevos modelos conduzcan a nuevas normas generales para mejores métodos de investigación y ayuden a definir los impactos por la regulación del caudal fluvial. El concepto de que todos los elementos del ecosistema recibirán apoyo si el régimen de caudal es el natural es, implícitamente, integral. En la actualidad, estos métodos adoptan un enfoque integral que incluye de manera explícita todo el ecosistema, tales como humedales conexos, aguas subterráneas y estuarios.

En la actualidad la Cuenca del río Camaná-Majes-Colca (CMC) no cuenta con un Consejo de Recursos Hídricos establecido y en funcionamiento; por ello la gestión de la cuenca se encuentra desarticulada. En tal sentido, se hace necesaria la creación del mencionado órgano con su respectivo Plan de Gestión de Recursos Hídricos ya que en dicho ámbito confluyen los distintos usos y la institucionalidad para una efectiva Gestión Integrada de los Recursos Hídricos a nivel de Cuenca Hidrográfica; en donde, el Caudal Ecológico forma parte importante del mencionado instrumento de planificación ya que permitirá mantener, proteger y conservar los ecosistemas involucrados.

Fundamentos de la Elección del Tema

El manejo del caudal ecológico consiste en la recuperación o conservación de determinados aspectos del régimen natural de caudales, encargados de mantener adecuadas las condiciones del hábitat y de generar los procesos ecológicos, hidrológicos y geomorfológicos, necesarios para conservar a largo plazo, las comunidades biológicas en un estado previamente definido por un panel de expertos en conjunto con la sociedad y los políticos.

Para mantener las condiciones esenciales de salud y servicios que proveen los ríos, se requiere imitar la variabilidad natural de los caudales, tomando en consideración la magnitud, frecuencia, periodicidad, duración y tasa de cambio de los eventos de flujo en los ríos.

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. El SENAMHI 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 el SENAMHI 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: $16^{\circ} 0' 28.42''$; Longitud: $72^{\circ}29'54''$ y una Altitud de 689 m.s.n.m. (Figura 1-2).

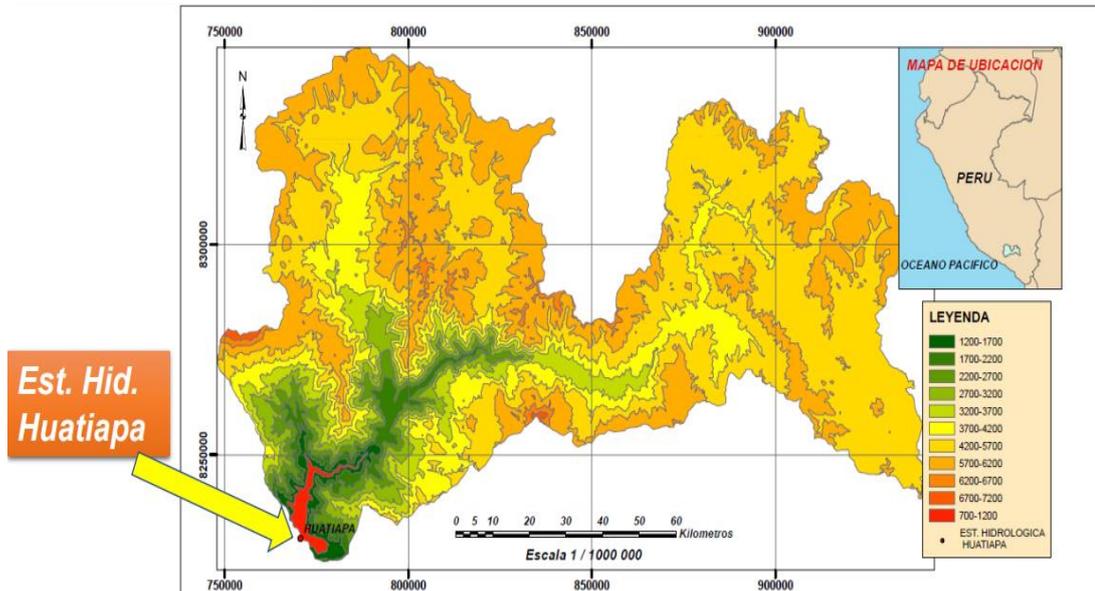


Figura 1-2: Ubicación de la Estación Hidrológica en de la Cuenca Camaná-Majes-Colca
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología -SENAMHI (2019).

El caudal ecológico actualmente viene considerándose como parte de la demanda ambiental en los planes de gestión hídrica de las cuencas, el cual se considera un avance positivo. Sin embargo, para determinar dichos caudales, se cuentan con limitaciones tanto en la aplicación de la metodología, acceso a información hidrológica y de curvas de preferencia de la fauna acuática.

Entre las propuestas para solucionar las limitaciones identificadas, se hace necesario desarrollar actividades multisectoriales que faciliten la información a los requerimientos del cálculo de caudal ecológico, capacitar en dicha temática al personal técnico de instituciones gubernamentales e interesados, asimismo realizar el seguimiento de los caudales ecológicos aprobados. En dicho estudio, se aplicó la metodología para la Determinación de Caudales Ambientales en América Latina del CEDDET- (Cooperación Española-Ralcea –UNL- 2018).

Cabe anotar que la Cuenca Ocoña, tiene características morfométricas similares a la Cuenca en Estudio, es decir la Cuenca Colca-Camaná-Majes tal y como se detalla en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4: Características Geomorfológicas de la Cuenca Ocoña y de la Cuenca Camaná-Majes-Colca

Parámetros morfométricos			Cuenca Hidrográfica	
			Ocoña	Colca – Camaná – Majes
Área	(km ²)	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
Coeficiente 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 ³ /s)	Q	1453.10	1134.10

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

Por lo que es de inferir que el comportamiento de la especie indicadora para el estudio, el Camarón de Río, 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 y Col (2006) el mismo que afirma que el Camarón de Río 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.

El Ministerio de Ambiente del Perú en el año 2010 efectuó el estudio denominado: «Servicio de Consultoría para la Sistematización y Seguimiento de la aplicación de Metodologías de Determinación del caudal Ecológico en Cuencas Hidrográficas en el Marco de las acciones de Seguimiento e Intervención» sin que haya sido validado por la Autoridad competente (Autoridad Nacional del Agua).

La Resolución Jefatural N° 212-2017-ANA resuelve la Prepublicación del Proyecto: «Lineamientos Generales para Determinar Caudales Ecológicos» que indica la necesidad de identificar especies indicadoras.

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 y Col (2006) 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).

El desplazamiento de la especie en estudio es realizado a cortas distancias y son realizados con el uso de periópodos, pero pueden fugar violentamente con contracciones de su abdomen y sus pleópodos. Son animales eminentemente bentónicos que viven normalmente entre temperaturas que oscilan los 10 a 24 °C, sin embargo, pueden tolerar temperaturas hasta los 30 °C, mientras que la salinidad tope es de 15°/oo. Además, diversos autores refieren un requerimiento de oxígeno en función al tiempo, frente a un medio deficitario de él, por lo que tiene un alto grado de consumo y requerimiento de oxígeno.

Según Yepez y Bandín (1998), en lo que respecta a la abundancia la población de los stocks adultos se estimaron en 7 417 109 individuos en el Río Camaná y la biomasa en 66 713 kg. El número de individuos y la biomasa variaron en relación inversa con la altitud. La sección mojada presenta incrementos en el río Camaná; el espejo de agua “pescable” es de 7239380 metros cuadrados, hasta los 900 m.s.n.m. como altitud límite. El patrón de incremento de la temperatura de las aguas de los ríos conforme disminuye la altitud es ratificado en términos generales; ya que temperaturas de 10 °C representan el límite inferior para la supervivencia del Camarón del Río. En cuanto al pH los valores son ligeramente básicos, pueden considerarse óptimos no constituyendo este parámetro factor limitante para la distribución y presencia de la especie en estudio. Los tenores de oxígeno disuelto próximos al 100% de saturación indican la existencia de un ambiente adecuado para el desarrollo de esta especie de acuerdo con Albornoz (citado por Bahamonde y Vila, 1971). Las concentraciones de alcalinidad y dureza son consideradas dentro del rango normal definiéndose como ambientes aptos para el Camarón. Se entiende por Biomasa la cantidad de materia acumulada en un individuo, un nivel trófico, una población o un ecosistema.

En cuanto al comportamiento del Camarón de Río, diversos autores mencionan que se ha reportado una mayor concentración de hembras del Camarón de Río pegadas a la zona estuarial del Río en los meses de verano. Su reproducción se realiza durante todo el año con su máximo entre enero y marzo. La zona principal de eclosión de los huevos está en el estuario del río sin embargo cuando las hembras o sus huevos no llegan a las vecindades del mar, por impedírsele algún obstáculo el camarón nace en agua dulce.

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 m³/s representando alrededor del 60% del total del caudal del río Camaná, en época de estiaje y deriva aguas abajo un caudal de 8 m³/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 (Figuras 1-3, 1-4 y 1-5).



Figura 1-3: Ubicación de la Bocatoma del Brazo - Cuenca Camaná-Majes-Colca
Fuente: Administración Local de Agua Camaná-Majes (2017).



Figura 1-4: Bocatoma El Brazo
Fuente: Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca-Camaná-Majes-Colca (ANA-INCLAM 2015).



Figura 1-5: Bocatoma El Brazo

Según el IMARPE – Instituto del Mar del Perú (2018) las más altas poblaciones de este crustáceo (Camarón del Río) se encuentran en los ríos del departamento de Arequipa, principalmente en los ríos Ocoña, Majes-Camaná y Tambo, debido a que los ríos llevan mayor caudal de agua. Por lo que la especie indicadora para el presente estudio es el *Cryphiops caementarius* (Figura 1-6), considerando, asimismo, su importancia económica en el ámbito de estudio.



Figura 1-6: Camarón de Río
Fuente: IMARPE

Antecedentes

La Autoridad Nacional del Agua del Perú (ente rector y máxima autoridad técnico – normativa de la gestión de los recursos hídricos del Perú) en el año 2015 realizó un inventario tanto de fuentes de agua como de infraestructuras con el objetivo de sistematizar, ordenar y almacenar las características básicas de la infraestructura mayor principal, de modo que constituya una herramienta referencial para la construcción del modelo de gestión de los recursos hídricos de la cuenca.

En cuanto a la infraestructura mayor, dentro de la Cuenca Hidrográfica Camaná-Majes- Colca; en la unidad hidrográfica Alto Colca, se encuentran 03 represas que forman parte del sistema regulado Chili (El Pañe, Bamputañe y Dique de los Españoles) y 01 represa que forma parte del sistema regulado Colca (Condoroma). En la unidad hidrográfica Ayo se encuentra 02 represas destinadas a aprovechamiento hidroeléctrico (Huisca Huisca y Arcata). Las centrales hidroeléctricas inventariadas en la cuenca son 7, que se ubican en las unidades hidrográficas Alto Colca y Ayo.

Se identifican un total de 469 bocatomas, principalmente de uso agrario, un total de 147 canales principales de derivación, en su mayoría de toma directa y uso agrícola, y 5 canales de trasvase. Los principales canales de derivación se encuentran en los valles de Camaná, Majes, Colca y Chuquibamba y son de uso agrícola. Los canales de trasvase se localizan principalmente en el Alto Colca, para la operación del sistema regulado Chili). También se tiene el Túnel Terminal de la Aducción Tuti-Siguas.

Es preciso indicar, que, dentro de las 469 bocatomas antes mencionadas, se encuentra la Bocatoma del Brazo, en la cual se ha evaluado el caudal ecológico, motivo de la presente tesis.

Además, existe un número indeterminado de pozos (sobre todo de uso poblacional) de los cuales se han identificado un total de 59, distribuidos principalmente entre los distritos del valle de Camaná, y especialmente en el sector de Jahuay, para uso agrícola.

A pesar de que en la parte baja de la Cuenca Hidrográfica, existe una considerable oferta de agua subterránea, la mayor fuente de abastecimiento del recurso hídrico para los diferentes usos corresponde al agua superficial.

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 Camarón de Río, señalándose como caudal ecológico 6,5 m³/s, dicho caudal prevé determinar un caudal aceptable para la subsistencia de la especie *Cryphiops caementarius*. La determinación del caudal ecológico para el camarón de río realizada en la cuenca del río Ocoña, es uno de los primeros antecedentes de la aplicación de dicha metodología.

Recursos Hídricos

La Autoridad Nacional del Agua del Perú, en el estudio hidrológico efectuado en la cuenca Camaná – Majes – Colca ha caracterizado los recursos hídricos disponibles a partir del análisis temporal y espacial de las variables climáticas esenciales, como son la temperatura, precipitación, evaporación, humedad relativa y velocidad del viento, con el fin último de construir un modelo hidrometeorológico que represente el ciclo hidrológico en la cuenca de forma continua. Los datos recopilados en las estaciones de control hidrométrico se emplean para calibrar el modelo de precipitación – escorrentía del que se obtienen las aportaciones en régimen natural.

La Resolución Ministerial N° 033-2008-AG, emitida por el Ministerio de Agricultura del Perú (dentro del cual está adscrita la Autoridad Nacional del Agua), aprobó la metodología de codificación de unidades geográficas Pfafstetter, Memoria Descriptiva y el Plano de Delimitación y Codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú, por lo cual dicha metodología (Pfafstetter) está validada en Perú para la delimitación de las unidades hidrográficas.

Considerando el método Pfafstetter la cuenca Camaná-Majes-Colca se corresponde con la unidad hidrográfica 134 de nivel 3 de Pfafstetter, por lo que para definir las subcuencas se parte de las unidades hidrográficas de nivel 4, sobre las que en la mayoría de casos se ha generado un grado de división mayor previo análisis de las características topográficas, ecológicas e hidrológicas para poder analizar cada una de ellas de forma particular, que se corresponden con las cuencas colectoras de los ríos tributarios más importantes, así como se ha tenido en cuenta para la división la ubicación de las demandas, los trasvases y represas en situación actual o futura y la localización de las estaciones de aforo, basándose siempre que ha sido posible en la división de nivel 5 de Pfafstetter. El resultado es la subdivisión de la cuenca en 51 subcuencas.

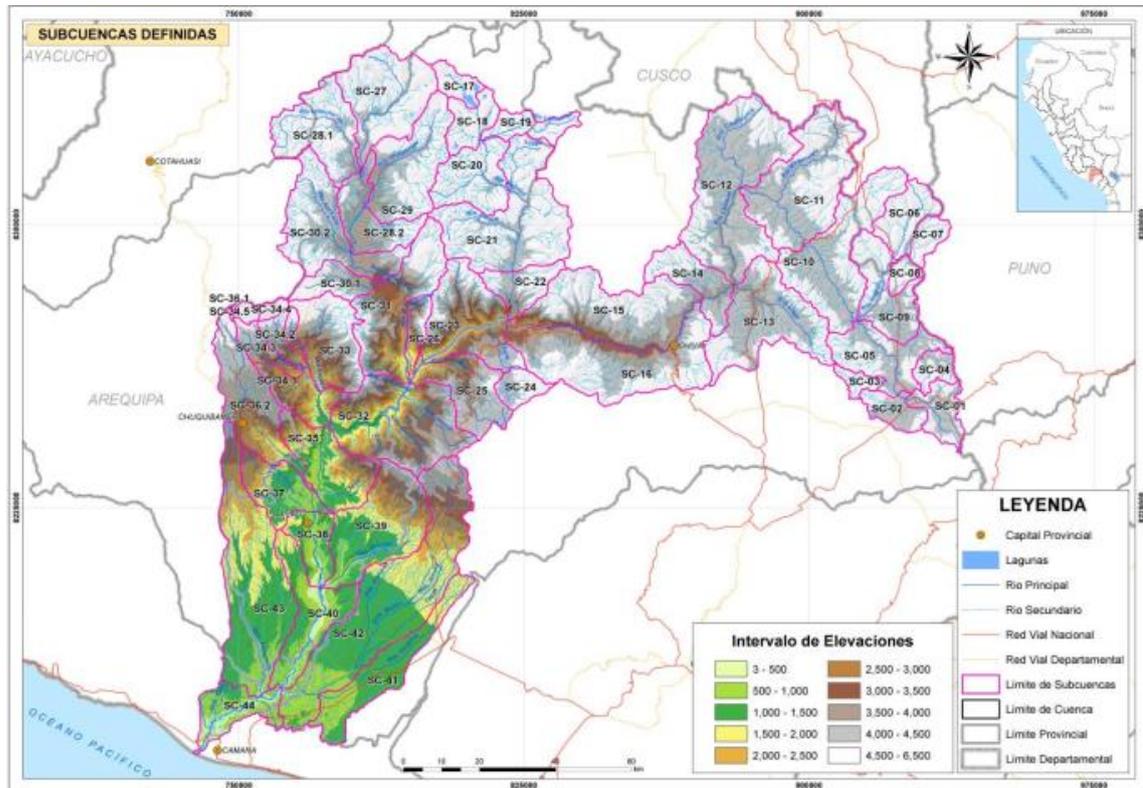


Figura 1-7: Sub-Cuencas Definidas por la Autoridad Nacional del Agua del Perú
Fuente: Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Camaná-Majes-Colca (ANA-INCLAM 2015).

2. OBJETIVOS

Objetivo General:

Realizar un análisis comparativo de metodologías para estimar el Caudal Ecológico en la Bocatoma El Brazo en la Cuenca del Rio Camaná-Majes-Colca, Perú.

Objetivos Específicos:

- a) Identificar, analizar las diferentes metodologías locales para la cuantificación del caudal ecológico para ser debidamente estimado y aplicado.
- b) Plantear un método guía para estimar el caudal ecológico y efectuar un análisis comparativo entre los métodos Hidrológicos con relación al método planteado a fin de determinar la metodología más apropiada debido a la necesidad de contar con tan importante parámetro para la conservación del ecosistema del cuerpo natural de agua que pueda ser aplicado en los diversos tramos de la Cuenca del rio Camaná -Majes. Colca.

3. MATERIALES Y METODOS

Cálculo del Caudal Ecológico por Métodos Hidrológicos.

Las metodologías con enfoques hidrológicos se fundamentan en el procesamiento de datos hidrológicos, basándose en la premisa que los ecosistemas se han adaptado a las variaciones naturales del régimen hídrico y a sus tendencias históricas. Es así como luego de un estudio hidrológico del régimen de caudales ambientales, es posible identificar un caudal básico sobre el cual los procesos ecosistémicos acuáticos de la corriente pueden ser mantenidos y preservados. Estos métodos son de los más utilizados por su facilidad de aplicación (Cabra y Corradine, 2020).

En la Bocatoma El Brazo en la Cuenca del Rio Camaná-Majes-Colca se realizó el análisis de las condiciones del régimen hidrológico. En tal sentido, se ha empleado la información histórica de la estación hidrométrica Huatiapa y modelos hidrológicos que permitan dicho análisis, como es el caso del método Weibull. La información hidrométrica proviene del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), cuya información de caudales es una serie temporal datos históricos de más de 20 años, que es lo que recomienda la legislación peruana.

Weibull

Se determinó 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 Rio Camaná-Majes-Colca, Perú. El estudio de determinación del caudal ecológico se realizará utilizando información estadística de los últimos 20 años (Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA), una vez corroborados los caudales medios mensuales en el tramo de estudio. Para ello se ha empleará la fórmula de Weibull (Ecuación 3-1):

$$P(X \geq x_m) = \left(\frac{m}{n+1} \right)$$

[3-1]

Donde:

- P: Probabilidad de excedencia.
- n: número total de datos de la muestra.
- m: posición de un valor en una lista ordenada por magnitud descendente del respectivo valor de caudal al que se refiere la probabilidad P de excedencia.

Entre los métodos empleados, en base a los registros de caudales medios mensuales históricos, se encuentran:

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 (ANA-INCLAM 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 m³/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 m³/s y menores o iguales a 50 m³/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 m³/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, 1,989).

Gonzales y Banderas (2015) indican que el método de Montana fue desarrollado por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los EUA (US Fish and Wild Life Service, USFWLS). Para validar el método se utilizaron estudios de campo de 11 ríos de tres estados de la Unión Americana de 1964 a 1974; así como los análisis físicos, químicos, biológicos y pesquerías (en aguas frías y calientes) de 38 diferentes ríos en 58 secciones transversales ubicadas a lo largo de 315 kilómetros de corriente. Los resultados indican que las condiciones del hábitat acuático son semejantes en la mayoría de los ríos en los que circula una porción similar del caudal fluvial medio. Otro estudio efectuado por el mismo USFWLS en diez ríos y 48 cauces diferentes, señaló 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.

Los resultados muestran que tres parámetros se incrementan al aumentar el caudal, sobre todo cuando los caudales son bajos. Los tres registraron cambios notables en el intervalo que va de cero a 10% del caudal medio anual (CMA).

Es notorio que el 10% del caudal medio cubre el 60% del substrato húmedo, y que la profundidad media de 30.5 cm y la velocidad media de la corriente de 24 cm s^{-1} , son considerados como puntos críticos que determinan el límite inferior para el desarrollo de los organismos acuáticos.

Dichos autores, asimismo, indican que el 10 % del CMA 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.

El análisis de los aforos realizados por la United State Geological Survey (USGS) en el periodo 1958-1975, ofreció correlaciones similares entre velocidad, profundidad y ancho del cauce para una amplia variedad de ríos de 21 estados de los EUA. Incluyó datos de arroyos con mucha pendiente ubicados en lo alto de las montañas Rocallosas (Rocky Mountains), ríos de gran longitud y poco gradiente de las praderas centrales, así como corrientes de las planicies costeras. (Metodologías para el Cálculo de Caudales Ecológicos y Ambientales en Río Regulados por Presas; Banderas et Villela - IMTA 2015).

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. Estudio de Impacto Ambiental de la Central Hidroeléctrica Molloco).

Método Planteado

A partir de estos antecedentes, se empleó al Camarón del Río 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:

$$Q = A \times V \quad [3-2]$$

Donde:

Q: Caudal expresado en m^3/s

A: Área de la sección en m^2

V: Velocidad del flujo en m/s

Para establecer el ancho del cauce del tramo del Rio 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. 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, donde cabe indicar que dichas fórmulas empíricas están considerando la rugosidad del cauce, material de fondo, orilla y la experiencia práctica como es el caso de la última, seleccionándose a la que tenga el mayor valor, ello según lo establecido en la mencionada Resolución Jefatural.

Además, en la determinación del ancho del cauce, profundidad y velocidad de la corriente óptimos para el desarrollo de la especie indicadora, se recurrió a información de estudios realizados en cuencas con características similares al tramo de la Cuenca en estudio, considerando los ajustes necesarios en el caso del ancho del cauce, tal y como fue descrito en las fórmulas empíricas validadas en la Resolución Jefatural N° 423-2011-ANA.

El ancho de Cauce (B) expresado en unidades de metros (m.) fue obtenido considerando como insumo principal al dato del Caudal (expresado en m³/s). En tal sentido, se procedió a determinar el ancho del cauce para todos los meses del año hidrológico, basándose en los datos de los caudales históricos medios mensuales que se encuentran consignados en el Anexo1, de acuerdo con cinco metodologías para luego lograr la comparación de resultados.

Los métodos aplicados para definir el ancho del cauce fueron los siguientes:

Método de Simons y Henderson

Según la Autoridad Nacional del Agua del Perú (2011), considerando la situación más desfavorable, fondo y orillas de área y la expresión indicada, se emplea la ecuación 3-3.

$$B = K1 * Q^{1/2} \quad [3-3]$$

Donde:

B: Ancho de Cauce

K: Constante en función al tipo de material del fondo y orillas del cauce.

Q: Caudal

Los valores de K se establecen según el material del canal, siendo:

Fondo y Orillas de Arena K1 = 5.70

Fondo Arena y Orillas de Material Cohesivo K1 = 4.20

Fondo y Orillas de Material Cohesivo	K1 = 3.60
Fondo y Orillas del Cauce de Grava	K1 = 2.90
Fondo Arena y Orillas de Material No Cohesivo	K1 = 2.80

Método de Blech Altunin

Se considera, en este método las correlaciones entre los materiales predominantes en el cauce del tramo a analizar tanto en su fondo como en la orilla y, asimismo, el dato del caudal para establecer el ancho del cauce, todo ello de acuerdo con la ecuación 3-4, la cual se describe a continuación:

$$B = 1.81 (Q Fb/Fs)^{1/2} \quad [3-4]$$

Donde:

B: Ancho de Cauce
Q : Caudal
Fb: Factor de Fondo
Fs: Factor de Orilla

Factor de Fondo (Fb)

0.80 – Mat. Finos (Dm<0.50 mm)
1.20 – Mat. Gruesos (Dm>0.50 mm)

Factor de Orilla (Fs)

0.10 – Mat. Suelos
0.20 – Mat. Ligeramente Cohesivos
0.30 – Mat. Cohesivos

Método de Maning Strickler

Según la Autoridad Nacional del Agua del Perú (2011), este método incluye a la rugosidad (n), tipo de material (K) y de cauce (m), de acuerdo con la ecuación 3-5:

$$B = \left(\frac{Q^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{5}}} \right) \left(n K^{\frac{5}{3}} \right)^{3/(3+5m)} \quad [3-5]$$

Donde:

B: Ancho de Cauce
Q : Caudal
S: Pendiente
n: Rugosidad del Cauce del Río
K: Coeficiente – Tipo de Material
m: Coeficiente Cauce

n: Rugosidad del Cauce del Río

0.025 – Sólido Sin Irregularidades
0.030 – Con Acarreo Irregular
0.033 – Con Vegetación
0.034 – Con Derrubio e Irregular
0.035 – Con Fuerte Transporte de Acarreo
0.040 – Con Piedras de 0.25 a 0.30 m
0.045 – Con Derrubio Grueso y Acarreo Móvil

K: Coeficiente – Tipo de Material

10 – Valor Práctico
12 – Mat. Aluvial
16 – Mat. Fácilmente erosionable
03 – Mat. Muy Resistente

m: Coeficiente Cauce

0.50 – Ríos de Cauces Aluviales
0.70 – Ríos de Cauces Arenosos
1.00 – Ríos de Cauces de Montaña

Método de Petis

El método de Petis, para determinar el ancho de cauce estable se basa en dos constantes empíricas que afectan la variable independiente, en este caso el Caudal (Q), de acuerdo a la ecuación 3-6 :

$$B = 4.44 Q^{0.5} \quad [3-6]$$

Donde:

B: Ancho de Cauce
Q: Caudal

Recomendación práctica

Considerando la evidencia empírica y experiencias de estudios en diversos cuerpos naturales de agua, la Autoridad Nacional del Agua ha considerado valores de ancho de cauce que están correlacionados en función al caudal predominante en una fuente de agua de tipo lótico (en este caso un río) de acuerdo con la Tabla 3-1:

Tabla 3-1: Recomendación Práctica

Q (m ³ /s)	Ancho de Cauce (B)(m)
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70

Fuente: Autoridad Nacional del Agua del Perú (2011)

Para la determinación del ancho estable, se han empleado todas las fórmulas empíricas presentadas, seleccionándose la que tenga mayor valor.

En resumen, la metodología aplicada para el establecimiento del ancho del cauce, profundidad y velocidad de la corriente óptimos para determinar el caudal ecológico considerando el desarrollo de la especie indicadora, fue necesario recurrir a información de estudios realizados en cuencas con características similares al tramo de la cuenca en estudio, considerando los ajustes necesarios en el caso del ancho del cauce, tal y como fue descrito en las fórmulas empíricas validadas en la Resolución Jefatural N° 423-2011-ANA. En la Tabla 3-2, se presentan los métodos empleados para estimar el **caudal ecológico** en el tramo seleccionado.

Tabla 3-2: Métodos para Estimar el Caudal Ecológico

Métodos
A. Hidrológico
B. DCPRH
C. Método del 10% (Tennant o Montana)
D. Rafael Heras
E. Método Planteado

Fuente: Elaboración Propia

Dentro del Método Planteado (E), para establecer el ancho de cauce, se han empleado los siguientes métodos (Tabla 3-3).

Tabla 3-3: Métodos para Estimar el Ancho de Cauce

Métodos
Simons y Henderson
Blech Altunin
Maning Strickler
Petis
Recomendación Práctica

Fuente: Elaboración Propia

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculo del Caudal Ecológico por Métodos Hidrológicos

Se procedió a determinar el caudal al 95% de persistencia; a partir para cada serie de datos medios mensuales, de una serie histórica de por lo menos 20 años a partir de la información generada por la Autoridad Nacional del Agua del Perú en el estudio de INCLAM Perú; “Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca Camaná –Majes-Colca”; del año 2015, el mismo, que se basa en sus datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI, ello en el tramo de interés de la fuente natural de agua, en este caso en la Bocatoma en el Rio Camaná-Majes-Colca.

Weibull

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 2013 que es una información mayor a la requerida en la Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA (referida a lineamientos para la determinación del Caudal Ecológico) la cual indica que se requieren 20 años. Para ello, fueron corroborados los caudales medios mensuales en el tramo de estudio, empleando la fórmula de Weibull, cuyos datos son consignados en el Anexo 1. Luego a partir de la información generada en el Anexo 1 ello se procedió a ordenar los resultados de mayor a menor, como se puede apreciar en el Anexo 2. Al emplear la fórmula de Weibull, se realizó un análisis de persistencias, en función a lo descrito en el Anexo 3.

Se obtuvieron los resultados de las persistencias de una serie histórica de 53 años, a partir del cual se estimaron los datos del caudal ecológico considerando el método de Weibull, que se muestran en la Tabla 4-1. 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 que representa el Caudal Ecológico por el método hidrológico.

Tabla 4-1: Persistencia al 95% de los Caudales Medios Mensuales (m³/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: Elaboración Propia.

A través de la determinación de la persistencia al 95% se obtuvo el dato del Caudal Ecológico en el tramo en estudio en la Bocatoma del Brazo basándose en el método hidrológico considerando una serie histórica mínima de 20 años pudiéndose apreciar que el Caudal Ecológico por dicha metodología oscila entre los 13.46 m³/s (mes de julio) y los 74.81 m³/s (mes de febrero).

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 (ANA-INCLAM 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 4-2, teniendo en cuenta la presencia de caudales medios anuales mayores a 50 m³/s (Anexo1) 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 4-2:

Tabla 4-2: Caudal Ecológico por el Criterio de la DCPRH (m³/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: Elaboración Propia.

Mediante el método de la DCPRH se obtuvo el dato del Caudal Ecológico, el cual osciló entre los 2.6 m³/s (mes de julio) y los 27.07 m³/s (mes de febrero).

Método del 10% (Tennant o Montana).

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 (ANA) ya que ambas metodologías son coincidentes entre sí, ello debido a que los caudales en el tramo en estudio son mayores a 50 m³/s (Tabla 4.3).

Tabla 4-3: Caudal Ecológico por el Método del 10% (m³/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: Elaboración Propia.

Mediante el método del 10 % se pudo obtener el dato del Caudal Ecológico, el cual oscilo entre los 2.6 m³/s (mes de julio) y los 27.07 m³/s (mes de febrero).

Método de Rafael Heras

Para el presente método, y considerando que el ámbito en estudio es una zona semi-áridas 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 4-4:

Tabla 4-4: Caudal Ecológico por el Método de Rafael Heras (m³/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: Elaboración Propia.

Mediante el Método de Rafael Heras se obtuvo el valor del Caudal Ecológico, el cual osciló entre los 0.78 m³/s (mes de julio) y los 8.12 m³/s (mes de febrero).

Método Planteado

El ancho de Cauce (B) expresado en unidades de metros (m.) fue obtenido considerando como insumo principal al dato del Caudal (expresado en m³/s) en función a lo descrito en el Capítulo de Metodología, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4-5: Ancho de Cauce mensual

Método	Ancho de Cauce (m.)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Simons y Henderson	42	47.7	43	29.4	17.9	15.6	14.8	15.4	16.9	17.7	21	28.9
Blech Altunin	64.2	72.9	65.8	44.9	27.4	23.9	22.6	23.5	25.8	27	32.2	44.2
Maning Strickler	26.9	30.6	27.7	18.9	11.5	10.1	9.5	9.9	10.9	11.4	13.6	18.6
Petis	64.3	73.1	65.9	45	27.4	23.9	22.6	23.5	25.8	27.1	32.2	44.3
Recomendación Práctica	29.4	37.9	30.8	14.4	5.3	4.1	3.6	3.9	4.7	5.2	7.4	13.9

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar de la Tabla 4-5, los mayores valores obtenidos en todos los meses del año corresponden a los métodos de Petis y Blech Altunin, habiéndose seleccionado sus resultados ya que son mayores valores comparados con las otras metodologías (Simons y Henderson, Maning Strickler y Recomendación Practica) considerando lo estipulado en la Resolución Jefatural N° 423-2011-ANA emitida por la Autoridad Nacional del Agua del Perú.

Los cálculos para estimar el ancho de cauce se encuentran en el Anexo 4.

En la Tabla 4-6, se presentan los datos del ancho del cauce del tramo del Rio Colca-Camaná-Majes en estudio los mismos que han sido calculados para la presente tesis, considerando los mayores valores hallados, de acuerdo con lo estipulado en la Resolución Jefatural N° 423-2011-ANA:

Tabla 4-6: 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: Elaboración propia

La divergencia de los resultados obtenidos entre los diversos métodos de cálculo para establecer el ancho de cauce se debe a que cada uno de ellos emplea diversas variables para establecer el ancho de cauce (factor de fondo, factor de orilla, rugosidad, pendiente, etc.). Sin embargo hay dos métodos que dan resultados prácticamente similares (Blech Altunin y Petis) lo cual justifica plenamente la certeza de los datos obtenidos y que se han empleado como insumo a fin de estimar el caudal ecológico por el método planteado.

Según Quevedo Medina 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” (2016), 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. Es importante mencionar que dicho estudio indica que la profundidad de

0.57 m. es la más frecuente en los camarones muestreados. Por otro lado, en lo que se refiere a la velocidad del agua, se menciona que la velocidad media con mayor frecuencia corresponde a la de 0.54 m/s.

Hay que considerar que en el caso del Camarón de Río, 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 4-7:

Tabla 4-7: Valores del Caudal Ecológico (m³/s) por el Método Planteado

Mes	Ancho cauce (m.)	Caudal (m ³ /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: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 4-8, se muestra el consolidado de los resultados del Caudal Ecológico obtenido por los diversos métodos aplicados en esta tesis:

Tabla 4-8: Valores del Caudal Ecológico (m³/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
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: Elaboración propia

Como se puede apreciar e inferir en la Tabla 4-8, 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). Cabe anotar que estos dos últimos métodos tienen los mismos valores entre sí.

Las metodologías con enfoques hidrológicos se fundamentan en el procesamiento de datos hidrológicos, basándose en la premisa que los ecosistemas se han adaptado a las variaciones naturales del régimen hídrico y a sus tendencias históricas, es así como posterior a un estudio hidrológico del régimen de caudales ambientales, es posible identificar un caudal básico sobre el cual los procesos ecosistémicos acuáticos de la corriente pueden ser mantenidos y preservados.

Sin embargo, como se ha podido apreciar, el método hidrológico empleando la persistencia al 95% de una serie histórica mínima de 20 años, ha dado resultados que se encuentran muy alejados de los obtenidos por el método planteado el mismo que si considera los requerimientos de la especie indicadora en el tramo de la cuenca seleccionado, ello debido a que el método hidrológico no considera los requerimientos en cuanto a velocidad de la corriente, profundidad y ancho de cauce, para el normal desarrollo de la especie indicadora en este caso el Camarón de Río.

Tennant (1976) plantea la recomendación de un caudal mínimo del 10% del caudal medio anual para mantener un hábitat de supervivencia a corto plazo para la biota acuática.

Considerando las Metodologías para el Cálculo de Caudales Ecológicos y Ambientales en Río Regulados por Presas (Banderas et Villela - IMTA 2015), se indica que el 10% del caudal medio cubre el 60% del substrato húmedo, y que la profundidad media de 30.5 cm y la velocidad media de la corriente de 24 cm/s, son considerados como puntos críticos que determinan el límite inferior para el desarrollo de los organismos acuáticos.

La metodología de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) propuso que con carácter provisional hasta que la ANA apruebe el Reglamento de Determinación del caudal ecológico para cursos con caudales medios anuales Mayores a 50 m³/s (como es el caso del tramo en estudio), el caudal ecológico corresponderá al 10% del caudal medio mensual para todos los meses del año.

Por otro lado, 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 gráficos:

Tabla 4-9: 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: Elaboración propia

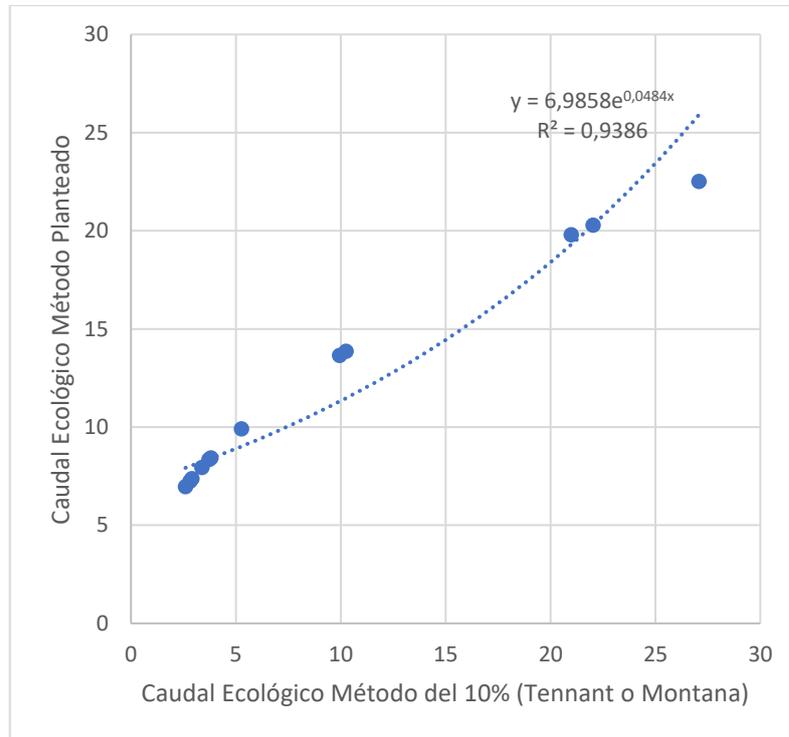


Figura 4-1: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Exponencial del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado

Fuente: Elaboración propia

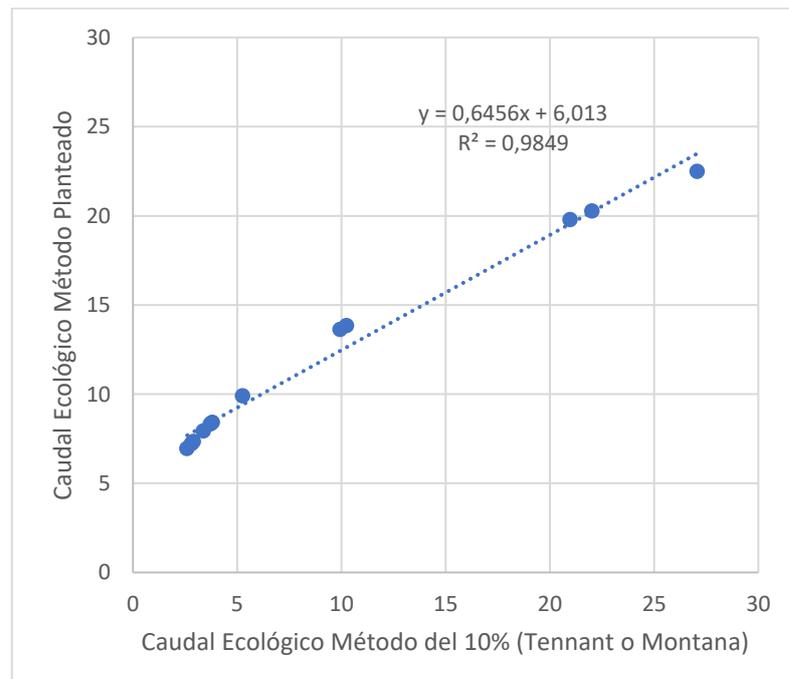


Figura 4-2: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Lineal del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado

Fuente: Elaboración propia

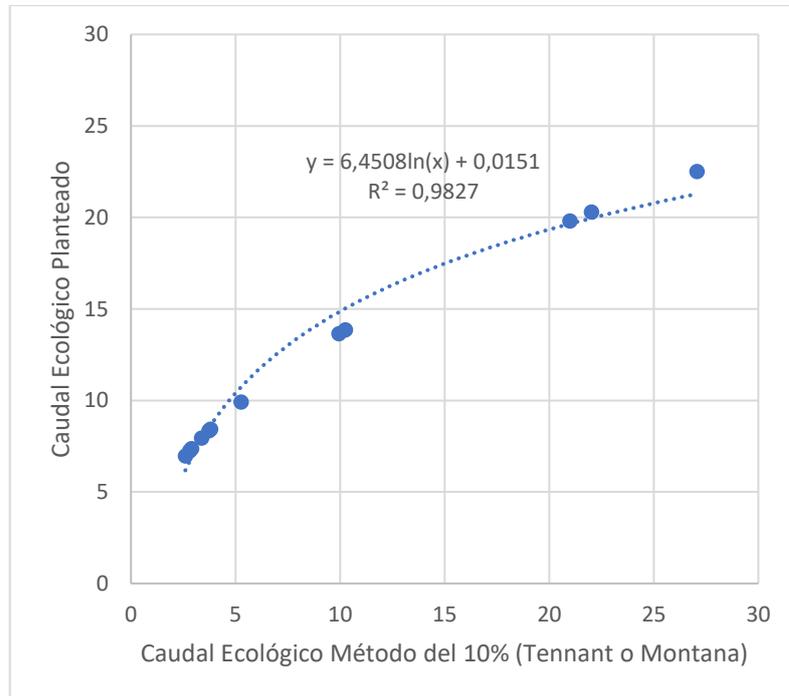


Figura 4-3: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Logarítmica del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado

Fuente: Elaboración propia

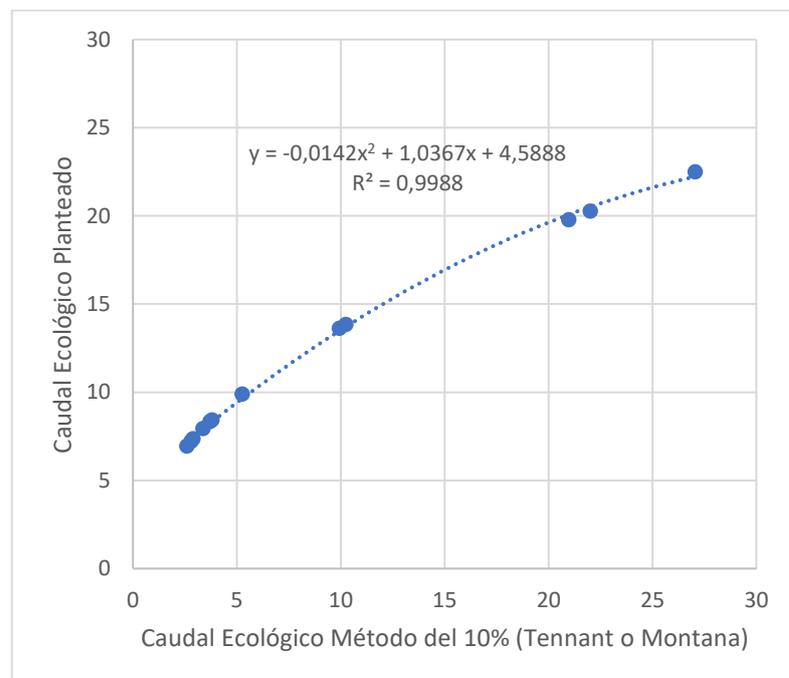


Figura 4-4: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Polinómica del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado

Fuente: Elaboración propia

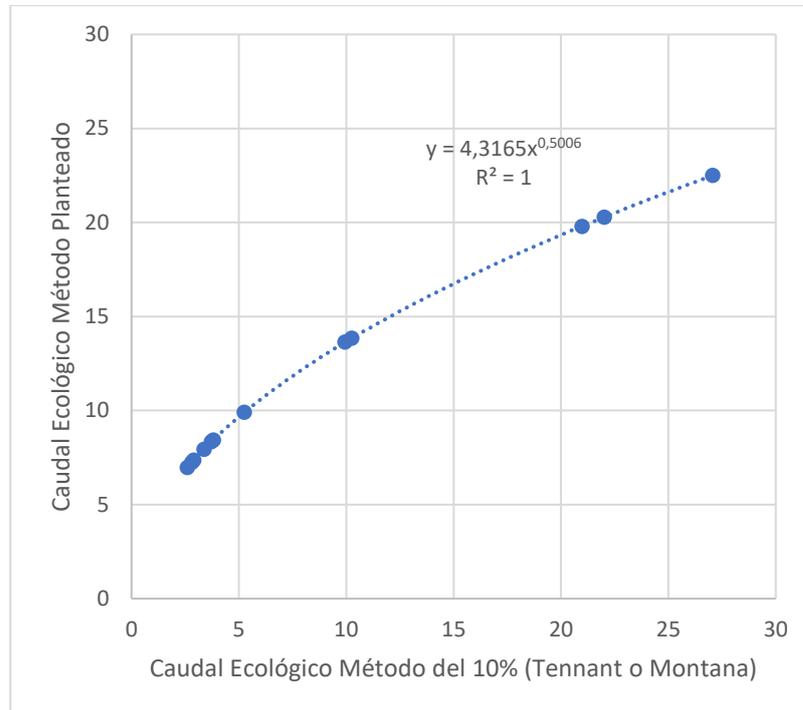


Figura 4-5: Gráfico de Dispersión y Línea de Tendencia Potencial del Caudal Ecológico Método del 10% (Tennant o Montana) Versus Caudal Ecológico Método Planteado

Fuente: Elaboración Propia

La tesis ha dado como resultado principal que la metodología más adecuada para estimar el caudal ecológico en el tramo de la cuenca de la Bocatoma del Brazo es el del 10% del caudal medio mensual de una serie histórica de datos no menor a 20 años.

Con estos resultados y la identificación de una metodología adecuada, se puede propender a que dicha información sea incluida en el Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica (PADH) para conformar un instrumento de gestión de mucha importancia en la planificación de la gestión de los recursos hídricos en la Cuenca Camaná-Majes – Colca, permitiendo la adecuada conservación del ecosistema del cuerpo natural, considerando, asimismo, que con ello se asegura la subsistencia de la especie indicadora, es decir el Camarón de Río, la cual tiene una gran importancia económica en la región.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados alcanzados en esta tesis permiten concluir:

- a) Diversos estudios realizados por entidades rectoras en el tema indican que, 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.
- b) Para la estimación del Caudal Ecológico en la Bocatoma del Brazo, se han empleado métodos Hidrológicos (95% de persistencia en una serie histórica, Rafael Heras, Dirección de Conservación y Planeamiento de la Autoridad Nacional del Agua del Perú-DCPRH y el Método del 10% o Tennant o Montana) cuyos resultados se han comparado con los valores estimados mediante el Método Planteado.
- c) El método del 95% de persistencia en una serie histórica, así como el método de Rafael Heras dan como resultado valores que están muy alejados del Método Planteado. 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 -DCPRH, así como el Método del 10% (Tennant o Montana) quienes tienen los mismos valores entre sí, por lo tanto, se recomienda su aplicación.
- d) Al correlacionar los resultados obtenidos tanto por el Método del 10% (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.
- e) Se ha cumplido con los objetivos de realizar un análisis comparativo de metodologías para estimar el Caudal Ecológico en la Bocatoma El Brazo en la Cuenca del Río Camaná-Majes-Colca, Perú. Asimismo, se han identificado y analizado las diferentes metodologías locales para la cuantificación del caudal ecológico, y finalmente se ha planeado un método guía para estimar el caudal ecológico habiéndose considerado el análisis comparativo entre los métodos hidrológicos y el Método Planteado para la conservación del ecosistema del cuerpo natural el cual será de simple aplicación en los diversos tramos de la Cuenca del río Camaná -Majes. Colca.

A partir de estas conclusiones, se recomienda:

- a) Realizar el monitoreo de la performance del caudal ecológico en el tramo de la cuenca seleccionada.
- b) Incluir en los Planes de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica (PADH) de las cuencas hidrográficas en valor del caudal ecológico.
- c) Incluir en la normatividad vigente en materia de recursos hídricos las metodologías para la estimación del caudal ambiental.
- d) Efectuar estudios para estimar el caudal ecológico en diversas cuencas del ámbito nacional.
- e) Validar el método del 10% como el mejor para estimar el caudal ecológico.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcóser Torres, Félix.** (2014). "Cálculo del Caudal Ecológico del Río Tumbes en la Estación El Tigre". Perú.
- Álvarez, Alexander.** (2015). "Estimación del Rendimiento Máximo Sostenible de *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782) Camarón de Río en la Cuenca del Río Ocoña, Arequipa 1999-2012". Arequipa, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua del Perú.** (2010). "Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos". Perú.
- Autoridad Nacional del Agua del Perú.** (2010). "Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Vertiente del Pacífico - Cuencas de la Costa Sur". Perú.
- 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.
- Autoridad Nacional del Agua del Perú.** (2011). "Tratamiento de Cauce del Río para el Control de Inundaciones en la Cuenca Santa". Perú.
- Autoridad Nacional del Agua del Perú – INCLAM Perú.** (2015). "Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca Camaná –Majes-Colca". Perú.
- Autoridad Nacional del Agua del Perú.** (2017). Resolución Jefatural N° 212-2017-ANA Prepublicación del Proyecto: «Lineamientos Generales para Determinar Caudales Ecológicos». Perú.
- Autoridad Nacional del Agua del Perú.** (2018). "Proyecto Mejoramiento de Servicio de Agua para Riego Bocatoma El Brazo". Perú.
- Autoridad Nacional del Agua del Perú.** (2019). "Lineamientos Generales para Determinar Caudales Ecológicos". Perú.
- Banderas y Villela – IMTA.** (2015). "Metodologías para el Cálculo de Caudales Ecológicos y Ambientales en Río Regulados por Presas". México.
- Bocardo D. Edwin.** (2009). "Informe Técnico de la Presencia del Camarón de Río de *Cryphiops caementarius* en la Cuenca del Río Ocoña". Perú.
- Briso-Montiano Lorena.** (2014). "Del Caudal Mínimo al Caudal Ecológico a Través del Régimen Concesional". España.
- Cabra Andrea del Pilar y Corradine María.** (2009). "Estimación del Caudal Ecológico por los Métodos 7Q10, Q95% 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". Colombia.
- Carrillo Carlos; Pacora Alesandro; Risco Raul; y Serpa Ronie.** (2012). "Plan Estratégico para el Camarón de Río". Perú.
- Caissie J. y otros.** (2014). "Hydrologically Based Environmental Flow Methods Applied to Rivers In The Maritime Provinces (Canadá)". Canadá.

Castro Heredia y otros. (2006). “Enfoques Teóricos para Definir el Caudal Ambiental”. Colombia.

CEDDET- Cooperación Española- Ralcea –UNL. (2018). “Metodologías para la Determinación de Caudales Ambientales en América Latina”. España.

Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S.A. (2009) “Estudio de Impacto Ambiental de la Central Hidroeléctrica Molloco”. Perú.

ENDESA Chile. (2011). “Introducción al Cálculo de Caudales Ecológicos Un Análisis de las Tendencias Actuales”. Chile.

Gallo -Velez David. (2016). “Consideraciones para la Aplicación del Método Hidráulico R2CROSS Para Estimar Caudales Ecológicos en Colombia”. Colombia.

García Ezequiel y Martínez Polioptro. (2008). “Métodos de Cálculo del Caudal de Reserva Ecológico Para Corrientes Superficiales: El Caso de los Ríos Tonto y Santo Domingo, en el Estado de Oaxaca, México”. México.

Gonzales Rebeca y Banderas Alfonso. (2015). “Metodologías para el Cálculo de Caudales Ecológicos y Ambientales en Ríos Regulados por Presas”. México.

Gonzales Rebeca y Banderas Alfonso. (2015). “Estudio Comparativo de Tres Metodologías para el Manejo y Cálculo de Caudales Ambientales en el Rio Santiago, Nayarit, Mexico”. México.

IMARPE -Instituto del Mar del Perú. (2007). “Informe Anual 2007, Monitoreo Poblacional de Camarón de Rio Estimación de Abundancia de Adultos en Ríos de la Costa Centro Sur”. Perú.

IMARPE -Instituto del Mar del Perú. (2015). Informe ISSN 0378-7702 Volumen 42, Número 3; “Camarón de Rio *Cryphiops caementarius* (Molina 1782) En la Costa Centro -Sur del Perú”. Perú.

INTA–Alianza WWF/FGRA-PHI/UNESCO -SEMARNAT. (2007) “Requerimientos para Implementar el Caudal Ambiental en Mexico”. México.

INYPSA Unidad de Consultoría Ambiental y Geología. (2009). “Curvas de Preferencia para Especies Piscícolas de las Cuencas del Guadiana y Guadalquivir”. España.

Martínez Yaset y Villalejo Victor. (2018). “A 10 años de la Declaración de Brisbane: Mirada a los Caudales Ecológicos y Ambientales”. Cuba.

Meza Rodriguez y otros. (2017). “Propuesta de Caudal Ecológico en la Cuenca del Rio Ayuquila- Armería en el Occidente de México”. México.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2015). “Conceptos y Métodos Sobre el Régimen de Caudales Ecológicos”. España.

OHYSA -Central Hidroeléctrica OCO. (2010). “Informe Técnico de la Viabilidad Socio Ambiental del Proyecto de la Central Hidroeléctrica OCO 2010”. Perú.

Ortiz M. Matías Esteban. (2018). “El Caudal Mínimo Ecológico en Traslado del Ejercicio de Derecho de Aprovechamiento una Aproximación desde el Derecho Administrativo”. Chile.

- Pantoja Valencia Natalia.** (2017). “Estimación de Caudales Ecológicos Mediante Métodos Hidrológicos, Hidráulicos y Ecológicos En La Quebrada El Conejo (Mocoa -Putumayo). Colombia.
- Pouilly, Mark.** (2009). “Caudal Ambiental Perspectivas de Evaluación”. Argentina.
- Provincia de Mendoza-Informe Técnico CIAI.** (2018). “Estudio Para la Recomposición del Ecosistema en el Noroeste Pampeano”. Argentina.
- Quevedo, Richard.** (2016). “Estudio de las Características del Habitat Asociadas a la Presencia de *Cryphiops caementarius* (Camarón de Río) en el Río Ocoña, y Medidas para Conservar Este Recurso Arequipa 2016” Universidad Nacional de San Agustín”. Perú.
- RESAG.** (2017). “Determinacao da Vazao Ecológica Pelos Métodos Montana, Q,7,10, Q90/Q95 e Mediana Das Vazoes Mensais do Rio Jenipapo -TO”. Brasil.
- Rodríguez, Sergio.** (2012). “Caracterización Ambiental y Determinación del Caudal Ecológico en la Cuenca del Río Verde, Oaxaca”. México.
- Tennant,Donald.** (1976). “Instream Flow Regimens For Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. USA.
- Trujillo Hamilton y Velásquez Jesús.** (2015). “Estudio de Hidráulica Fluvial y Simulación del Comportamiento, en Avenidas Máximas del Río Jequetepeque tramo Infiernillo-Pellejito de 19 km de Longitud. Provincia de Pacasmayo Departamento de la Libertad-2015”. Perú.
- Universidad del Quindío, Grupo de Investigación CIDERA – Corporación Autónoma Regional del Quindío – Convenio Interadministrativo N° 027** Noviembre 10 del 2010. (2011). “Estimación de Caudales Ecológicos Mediante Métodos Hidrológicos e Hidráulicos en la UMC Río Quindío”. Colombia.
- Veliz Karen.** (2017). “Estudio Sobre *Cryphiops caementarius* (Camarón) Como Bioindicador del Contenido de Metales Pesados del Río Majes en la Provincia de Castilla”. Perú.
- Vilchez Ochoa Guillermo.** (2010). «Servicio de Consultoría para la Sistematización y Seguimiento de la Aplicación de Metodologías de Determinación del Caudal Ecológico en Cuencas Hidrográficas en el Marco de las Acciones de Seguimiento e Intervención». Perú.
- Wasiw José y Yépez Víctor.** (2015) “Evaluación Poblacional del Camarón *Cryphiops caementarius* en Ríos de la Costa Sur del Perú”. Perú.
- WWF.** (2010) “Caudal Ecológico Salud al Ambiente, Agua para la Gente”. México.
- Yepez Victor y Bandín Ricardo.** (1997). “Evaluación del Recurso Camarón *Cryphiops caementarius* en los Ríos Ocoña, Majes Camaná y Tambo”. Perú.

7. ANEXOS

Anexo 1: Caudales Medios Mensuales (m³/s) Subcuenca Medio Bajo Camaná

N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
1	1965	248,9	349,3	272,76	160,65	78,07	68,51	63,11	55,82	63,64	56,12	50,15	143,73	134,23
2	1966	150,12	220,26	131,7	73,73	67,17	36,29	30,33	29,47	30,6	58,68	72,31	71,9	81,05
3	1967	172,92	281,35	307,4	108,48	38,79	29,38	29,58	30,54	44,02	34,02	28,98	85,28	99,23
4	1968	241,33	232,36	265,05	86,5	35,88	29,64	26,64	28,31	32,02	55,17	171,53	107,01	109,29
5	1969	207,25	206,98	164,17	90,51	29,21	50,89	34,55	34,68	35,84	41,47	154,5	208,05	104,84
6	1970	307,83	509,37	448,52	207,5	66,98	37,4	30,75	28,42	47,75	40,2	41,24	103,43	155,78
7	1971	256,04	335,85	172,87	64,41	29,82	26,65	23,53	22,75	21,61	24,66	23,49	115,9	93,13
8	1972	398,96	315,93	442,19	112,94	36,78	29,93	27,17	24,8	81,57	66,07	51,28	122,19	142,48
9	1973	387,36	336,68	420,61	203,42	57,19	37,26	35,85	44,74	81,18	34,64	66,56	71,57	148,09
10	1974	398,43	355,4	130,68	162,16	38,33	49,83	31,05	100,07	49,4	29	30	88,3	121,8875
11	1975	244,59	430,47	275,79	99,21	55,2	37,11	29,81	27,64	32,93	43,97	25,57	117,19	118,29
12	1976	270,93	278,04	258,14	71,5	49,52	36,09	35,81	34,05	91,86	30,69	23,97	86,64	105,6
13	1977	96,2	361,55	245,36	47,26	31,31	26,06	25,91	22,08	30,43	33,96	98,89	75,97	91,25
14	1978	293,53	102,12	105,71	113,24	24,75	22,89	23,88	18,74	19,5	25,5	92,35	92,35	77,88
15	1979	115,37	94,91	203,82	43,51	18,57	16,35	19,07	15,18	14,12	49,72	57,27	133,79	65,14
16	1980	117,38	92,6	223,23	63,96	24,5	18,2	20,25	26,35	37,77	116,92	30,5	57,59	69,1
17	1981	233,99	322,37	100,05	119,55	27,12	20,04	17,2	61,61	38,23	32,73	50,16	105,6	94,05
18	1982	173,38	111,92	147,36	76,65	20,55	17,49	15,24	15,5	71,53	85	154,08	71,65	80,03
19	1983	54,27	108,65	67,04	80,5	30,23	17,26	13,88	12,64	31,75	18,76	13,37	38,62	40,58
20	1984	165,01	447,03	434	72,71	30,69	27,9	19,25	26,35	18,95	73,68	138,11	141,69	132,95
21	1985	53,46	369,71	281,6	158,68	51,62	35,87	23,25	20,32	28,66	17,85	77,27	143,6	105,16
22	1986	214,56	348,88	303,29	178,54	42,42	26,95	24,51	51,01	32,64	24,51	29,91	169,45	120,56
23	1987	279,55	112,8	58,68	47,09	23,84	21,01	32,86	24,03	18,11	28,2	31,99	31,63	59,15
24	1988	299,3	132,78	145,25	101,37	44,34	20,72	16,73	16,43	18,87	15,81	15,11	80,5	75,6
25	1989	152,59	217,58	195,24	101,84	32,16	21,32	17,83	17,14	15,79	14,96	23,09	19,86	69,12
26	1990	92,27	69,91	88,37	46,06	21,21	43,43	13,98	21,77	13,66	35,11	149,67	126,98	60,2
27	1991	201,8	159,01	292,35	58,05	24,52	38,62	18,84	17,87	18,28	27,38	72,09	69,24	83,17
28	1992	69,91	79,71	32,59	18,16	12,14	13,09	11,58	28,88	12,96	20,12	21,68	68,45	32,44
29	1993	200,72	124,89	169,87	66,07	28,2	15,97	13,03	29,01	23,49	55,49	50,04	111,11	73,99
30	1994	324,47	403,98	154,05	96,33	34,81	21,37	18,17	17,05	16,49	15,81	30,42	68,73	100,14
31	1995	132,17	138,42	299,57	65,59	21,98	18,95	15,75	15,24	24,44	23,74	57,3	100,11	76,11
32	1996	183,04	316,39	165,81	115,07	39,17	20,85	17,36	25,17	21,2	20,2	51,06	124,56	91,66
33	1997	202,79	363,14	182,89	66,32	34,97	22,64	18,91	47,7	89,18	29,51	71,39	181,02	109,21
34	1998	364,45	229,67	179,08	53,53	24,17	23,29	20,75	19,09	18,55	20,24	71,48	127,58	95,99
35	1999	196,2	475,22	442,72	152,18	40,27	30,9	26,72	24,37	48,9	87,91	32,78	100,85	138,25
36	2000	297,45	391,66	279,62	102,91	53,89	32,2	25,9	29,13	24,38	95,31	35,62	120,12	124,02
37	2001	290,3	476,69	253,31	177,71	54,27	33,92	32,95	35,08	35,72	42,22	28,51	51,55	126,02
38	2002	114,32	332,69	288,49	179,72	49,47	29,31	74,51	30,2	31,45	45,02	86,21	175,51	119,74
39	2003	176,86	256,17	232,83	73,3	46,32	25,29	22,43	24,41	24,97	23,41	22,77	91,63	85,03
40	2004	256,09	286,51	211,92	83,15	24,18	21,16	36,3	27,67	35,67	18,84	19,33	67,32	90,68
41	2005	127,71	236,19	155,58	69,03	19,33	17,61	15,66	14,95	34,58	21,46	23,89	114,92	70,91
42	2006	252,93	301,06	290,82	89,32	26,99	23,03	19,26	20,33	33,54	39,99	77,88	69,23	103,7
43	2007	224,9	304	277,36	106,24	37,64	23,73	23,57	20	25,16	24,78	37,6	73,04	98,17
44	2008	358,95	229,71	117,48	32,05	23,01	21,89	18,72	19,59	18,45	24,05	20,58	88,84	81,11
45	2009	132,68	277,97	193,2	113,68	23,86	19,88	28,77	18,35	29,45	19,47	48,01	54,19	79,96
46	2010	160,59	259,97	128,39	65	32,84	18,99	16,31	15,06	16,07	24,68	22,39	137,27	74,8
47	2011	207,39	405,71	178,97	173,28	38,49	22,57	28,1	22,56	23,84	21,57	37,93	185,53	112,16
48	2012	319,78	615,03	317,71	231,37	45,65	32,64	28,72	26,12	54,22	53,4	28,88	250,75	167,02
49	2013	260,36	342,39	209,5	43,42	61,53	56,97	37,66	40,88	26,6	38,98	41,87	123,42	106,97
50	2014	212,18	66,09	157,80	121,40	57,05	40,87	36,60	34,19	31,04	27,71	27,38	23,04	69,61
51	2015	50,34	256,73	211,81	141,96	55,13	41,75	33,74	29,22	25,81	24,24	24,45	21,36	76,38
52	2016	21,51	163,39	55,53	44,67	26,17	21,73	23,34	21,76	20,09	19,10	17,63	16,34	37,61
53	2017	153,26	109,59	302,32	202,50	74,90	45,07	30,03	24,94	21,77	19,78	29,16	39,53	87,74
	PROMEDIO	209,79	270,69	220,20	102,53	38,06	29,03	25,96	28,10	33,75	37,20	52,64	99,35	95,61

Anexo 2: Caudales Medios Mensuales (m³/s) Ordenados de Mayor a Menor

N° Orden	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	398,96	615,03	448,52	231,37	78,07	68,51	74,51	100,07	91,86	116,92	171,53	250,75
2	398,43	509,37	442,72	207,5	74,90	56,97	63,11	61,61	89,18	95,31	154,5	208,05
3	387,36	476,69	442,19	203,42	67,17	50,89	37,66	55,82	81,57	87,91	154,08	185,53
4	364,45	475,22	434	202,50	66,98	49,83	36,60	51,01	81,18	85	149,67	181,02
5	358,95	447,03	420,61	179,72	61,53	45,07	36,3	47,7	71,53	73,68	138,11	175,51
6	324,47	430,47	317,71	178,54	57,19	43,43	35,85	44,74	63,64	66,07	98,89	169,45
7	319,78	405,71	307,4	177,71	57,05	41,75	35,81	40,88	54,22	58,68	92,35	143,73
8	307,83	403,98	303,29	173,28	55,2	40,87	34,55	35,08	49,4	56,12	86,21	143,6
9	299,3	391,66	302,32	162,16	55,13	38,62	33,74	34,68	48,9	55,49	77,88	141,69
10	297,45	369,71	299,57	160,65	54,27	37,4	32,95	34,19	47,75	55,17	77,27	137,27
11	293,53	363,14	292,35	158,68	53,89	37,26	32,86	34,05	44,02	53,4	72,31	133,79
12	290,3	361,55	290,82	152,18	51,62	37,11	31,05	30,54	38,23	49,72	72,09	127,58
13	279,55	355,4	288,49	141,96	49,52	36,29	30,75	30,2	37,77	45,02	71,48	126,98
14	270,93	349,3	281,6	121,40	49,47	36,09	30,33	29,47	35,84	43,97	71,39	124,56
15	260,36	348,88	279,62	119,55	46,32	35,87	30,03	29,22	35,72	42,22	66,56	123,42
16	256,09	342,39	277,36	115,07	45,65	33,92	29,81	29,13	35,67	41,47	57,3	122,19
17	256,04	336,68	275,79	113,68	44,34	32,64	29,58	29,01	34,58	40,2	57,27	120,12
18	252,93	335,85	272,76	113,24	42,42	32,2	28,77	28,88	33,54	39,99	51,28	117,19
19	248,9	332,69	265,05	112,94	40,27	30,9	28,72	28,42	32,93	38,98	51,06	115,9
20	244,59	322,37	258,14	108,48	39,17	29,93	28,1	28,31	32,64	35,11	50,16	114,92
21	241,33	316,39	253,31	106,24	38,79	29,64	27,17	27,67	32,02	34,64	50,15	111,11
22	233,99	315,93	245,36	102,91	38,49	29,38	26,72	27,64	31,75	34,02	50,04	107,01
23	224,9	304	232,83	101,84	38,33	29,31	26,64	26,35	31,45	33,96	48,01	105,6
24	214,56	301,06	223,23	101,37	37,64	27,9	25,91	26,35	31,04	32,73	41,87	103,43
25	212,18	286,51	211,92	99,21	36,78	26,95	25,9	26,12	30,6	30,69	41,24	100,85
26	207,39	281,35	211,81	96,33	35,88	26,65	24,51	25,17	30,43	29,51	37,93	100,11
27	207,25	278,04	209,5	90,51	34,97	26,06	23,88	24,94	29,45	29	37,6	92,35
28	202,79	277,97	203,82	89,32	34,81	25,29	23,57	24,8	28,66	28,2	35,62	91,63
29	201,8	259,97	195,24	86,5	32,84	23,73	23,53	24,41	26,6	27,71	32,78	88,84
30	200,72	256,73	193,2	83,15	32,16	23,29	23,34	24,37	25,81	27,38	31,99	88,3
31	196,2	256,17	182,89	80,5	31,31	23,03	23,25	24,03	25,16	25,5	30,5	86,64
32	183,04	236,19	179,08	76,65	30,69	22,89	22,43	22,75	24,97	24,78	30,42	85,28
33	176,86	232,36	178,97	73,73	30,23	22,64	20,75	22,56	24,44	24,68	30	80,5
34	173,38	229,71	172,87	73,3	29,82	22,57	20,25	22,08	24,38	24,66	29,91	75,97
35	172,92	229,67	169,87	72,71	29,21	21,89	19,26	21,77	23,84	24,51	29,16	73,04
36	165,01	220,26	165,81	71,5	28,2	21,73	19,25	21,76	23,49	24,24	28,98	71,9
37	160,59	217,58	164,17	69,03	27,12	21,37	19,07	20,33	21,77	24,05	28,88	71,65
38	153,26	206,98	157,80	66,32	26,99	21,32	18,91	20,32	21,61	23,74	28,51	71,57
39	152,59	163,39	155,58	66,07	26,17	21,16	18,84	20	21,2	23,41	27,38	69,24
40	150,12	159,01	154,05	65,59	24,75	21,01	18,72	19,59	20,09	21,57	25,57	69,23
41	132,68	138,42	147,36	65	24,52	20,85	18,17	19,09	19,5	21,46	24,45	68,73
42	132,17	132,78	145,25	64,41	24,5	20,72	17,83	18,74	18,95	20,24	23,97	68,45
43	127,71	124,89	131,7	63,96	24,18	20,04	17,36	18,35	18,87	20,2	23,89	67,32
44	117,38	112,8	130,68	58,05	24,17	19,88	17,2	17,87	18,55	20,12	23,49	57,59
45	115,37	111,92	128,39	53,53	23,86	18,99	16,73	17,14	18,45	19,78	23,09	54,19
46	114,32	109,59	117,48	47,26	23,84	18,95	16,31	17,05	18,28	19,47	22,77	51,55
47	96,2	108,65	105,71	47,09	23,01	18,2	15,75	16,43	18,11	19,10	22,39	39,53
48	92,27	102,12	100,05	46,06	21,98	17,61	15,66	15,5	16,49	18,84	21,68	38,62
49	69,91	94,91	88,37	44,67	21,21	17,49	15,24	15,24	16,07	18,76	20,58	31,63
50	54,27	92,6	67,04	43,51	20,55	17,26	13,98	15,18	15,79	17,85	19,33	23,04
51	53,46	79,71	58,68	43,42	19,33	16,35	13,88	15,06	14,12	15,81	17,63	21,36
52	50,34	69,91	55,53	32,05	18,57	15,97	13,03	14,95	13,66	15,81	15,11	19,86
53	21,51	66,09	32,59	18,16	12,14	13,09	11,58	12,64	12,96	14,96	13,37	16,34

Anexo 3: Análisis de Persistencias de los Caudales Medios Mensuales (m³/s)

F= m/n+1	N° Orden	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0,02	1	398,96	615,03	448,52	231,37	78,07	68,51	74,51	100,07	91,86	116,92	171,53	250,75
0,04	2	398,43	509,37	442,72	207,5	74,90	56,97	63,11	61,61	89,18	95,31	154,5	208,05
0,06	3	387,36	476,69	442,19	203,42	67,17	50,89	37,66	55,82	81,57	87,91	154,08	185,53
0,07	4	364,45	475,22	434	202,50	66,98	49,83	36,60	51,01	81,18	85	149,67	181,02
0,09	5	358,95	447,03	420,61	179,72	61,53	45,07	36,3	47,7	71,53	73,68	138,11	175,51
0,11	6	324,47	430,47	317,71	178,54	57,19	43,43	35,85	44,74	63,64	66,07	98,89	169,45
0,13	7	319,78	405,71	307,4	177,71	57,05	41,75	35,81	40,88	54,22	58,68	92,35	143,73
0,15	8	307,83	403,98	303,29	173,28	55,2	40,87	34,55	35,08	49,4	56,12	86,21	143,6
0,17	9	299,3	391,66	302,32	162,16	55,13	38,62	33,74	34,68	48,9	55,49	77,88	141,69
0,19	10	297,45	369,71	299,57	160,65	54,27	37,4	32,95	34,19	47,75	55,17	77,27	137,27
0,20	11	293,53	363,14	292,35	158,68	53,89	37,26	32,86	34,05	44,02	53,4	72,31	133,79
0,22	12	290,3	361,55	290,82	152,18	51,62	37,11	31,05	30,54	38,23	49,72	72,09	127,58
0,24	13	279,55	355,4	288,49	141,96	49,52	36,29	30,75	30,2	37,77	45,02	71,48	126,98
0,26	14	270,93	349,3	281,6	121,40	49,47	36,09	30,33	29,47	35,84	43,97	71,39	124,56
0,28	15	260,36	348,88	279,62	119,55	46,32	35,87	30,03	29,22	35,72	42,22	66,56	123,42
0,30	16	256,09	342,39	277,36	115,07	45,65	33,92	29,81	29,13	35,67	41,47	57,3	122,19
0,31	17	256,04	336,68	275,79	113,68	44,34	32,64	29,58	29,01	34,58	40,2	57,27	120,12
0,33	18	252,93	335,85	272,76	113,24	42,42	32,2	28,77	28,88	33,54	39,99	51,28	117,19
0,35	19	248,9	332,69	265,05	112,94	40,27	30,9	28,72	28,42	32,93	38,98	51,06	115,9
0,37	20	244,59	322,37	258,14	108,48	39,17	29,93	28,1	28,31	32,64	35,11	50,16	114,92
0,39	21	241,33	316,39	253,31	106,24	38,79	29,64	27,17	27,67	32,02	34,64	50,15	111,11
0,41	22	233,99	315,93	245,36	102,91	38,49	29,38	26,72	27,64	31,75	34,02	50,04	107,01
0,43	23	224,9	304	232,83	101,84	38,33	29,31	26,64	26,35	31,45	33,96	48,01	105,6
0,44	24	214,56	301,06	223,23	101,37	37,64	27,9	25,91	26,35	31,04	32,73	41,87	103,43
0,46	25	212,18	286,51	211,92	99,21	36,78	26,95	25,9	26,12	30,6	30,69	41,24	100,85
0,48	26	207,39	281,35	211,81	96,33	35,88	26,65	24,51	25,17	30,43	29,51	37,93	100,11
0,50	27	207,25	278,04	209,5	90,51	34,97	26,06	23,88	24,94	29,45	29	37,6	92,35
0,52	28	202,79	277,97	203,82	89,32	34,81	25,29	23,57	24,8	28,66	28,2	35,62	91,63
0,54	29	201,8	259,97	195,24	86,5	32,84	23,73	23,53	24,41	26,6	27,71	32,78	88,84
0,56	30	200,72	256,73	193,2	83,15	32,16	23,29	23,34	24,37	25,81	27,38	31,99	88,3
0,57	31	196,2	256,17	182,89	80,5	31,31	23,03	23,25	24,03	25,16	25,5	30,5	86,64
0,59	32	183,04	236,19	179,08	76,65	30,69	22,89	22,43	22,75	24,97	24,78	30,42	85,28
0,61	33	176,86	232,36	178,97	73,73	30,23	22,64	20,75	22,56	24,44	24,68	30	80,5
0,63	34	173,38	229,71	172,87	73,3	29,82	22,57	20,25	22,08	24,38	24,66	29,91	75,97
0,65	35	172,92	229,67	169,87	72,71	29,21	21,89	19,26	21,77	23,84	24,51	29,16	73,04
0,67	36	165,01	220,26	165,81	71,5	28,2	21,73	19,25	21,76	23,49	24,24	28,98	71,9
0,69	37	160,59	217,58	164,17	69,03	27,12	21,37	19,07	20,33	21,77	24,05	28,88	71,65
0,70	38	153,26	206,98	157,80	66,32	26,99	21,32	18,91	20,32	21,61	23,74	28,51	71,57
0,72	39	152,59	163,39	155,58	66,07	26,17	21,16	18,84	20	21,2	23,41	27,38	69,24
0,74	40	150,12	159,01	154,05	65,59	24,75	21,01	18,72	19,59	20,09	21,57	25,57	69,23
0,76	41	132,68	138,42	147,36	65	24,52	20,85	18,17	19,09	19,5	21,46	24,45	68,73
0,78	42	132,17	132,78	145,25	64,41	24,5	20,72	17,83	18,74	18,95	20,24	23,97	68,45
0,80	43	127,71	124,89	131,7	63,96	24,18	20,04	17,36	18,35	18,87	20,2	23,89	67,32
0,81	44	117,38	112,8	130,68	58,05	24,17	19,88	17,2	17,87	18,55	20,12	23,49	57,59
0,83	45	115,37	111,92	128,39	53,53	23,86	18,99	16,73	17,14	18,45	19,78	23,09	54,19
0,85	46	114,32	109,59	117,48	47,26	23,84	18,95	16,31	17,05	18,28	19,47	22,77	51,55
0,87	47	96,2	108,65	105,71	47,09	23,01	18,2	15,75	16,43	18,11	19,10	22,39	39,53
0,89	48	92,27	102,12	100,05	46,06	21,98	17,61	15,66	15,5	16,49	18,84	21,68	38,62
0,91	49	69,91	94,91	88,37	44,67	21,21	17,49	15,24	15,24	16,07	18,76	20,58	31,63
0,93	50	54,27	92,6	67,04	43,51	20,55	17,26	13,98	15,18	15,79	17,85	19,33	23,04
0,94	51	53,46	79,71	58,68	43,42	19,33	16,35	13,88	15,06	14,12	15,81	17,63	21,36
0,96	52	50,34	69,91	55,53	32,05	18,57	15,97	13,03	14,95	13,66	15,81	15,11	19,86
0,98	53	21,51	66,09	32,59	18,16	12,14	13,09	11,58	12,64	12,96	14,96	13,37	16,34

MAESTRÍA EN
ecohidrología



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Anexo 4: Estimación del Ancho de Cauce

		Método de Simons y Henderson	Método de Blech Altunin	Método de Maning Strickler	Método de Petis	Método de la Recomendación Práctica
ENERO	Ecuación	$B = 2.9 (209.79 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(209.79 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(209.79 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (209.79 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 209.79 ---- x
	B (m)	42	64.2	26.9	64.3	29.4
FEBRERO	Ecuación	$B = 2.9 (270.69 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(270.69 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(270.69 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (270.69 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 270.69 --- x
	B (m)	47.7	72.9	30.6	73.1	37.9
MARZO	Ecuación	$B = 2.9 (220.20 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(220.20 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(220.20 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (220.20 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 220.20 --- x
	B (m)	43.0	65.8	27.7	65.9	30.8
ABRIL	Ecuación	$B = 2.9 (102.53 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(102.53 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(102.53 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (102.53 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 102.53 --- x
	B (m)	29.4	44.9	18.91	45.0	14.35
MAYO	Ecuación	$B = 2.9 (38.06 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(38.06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(38.06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (38.06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 38.06 --- x
	B (m)	17.9	27.4	11.53	27.4	5.33
JUNIO	Ecuación	$B = 2.9 (29.03 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(29.03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(29.03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (29.03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 29.03 --- x
	B (m)	15.6	23.9	10.07	23.9	4.06

		Método de Simons y Henderson	Método de Blech Altunin	Método de Maning Strickler	Método de Petis	Método de la Recomendación Práctica
JULIO	Ecuación	$B = 2.9 (25.96 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(25.96 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(25.96 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (25.96 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 25.96 --- x
	B (m)	14.8	22.6	9.51	22.62	3.6
AGOSTO	Ecuación	$B = 2.9 (28.10 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(28.10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(28.10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (28.10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 28.10 --- x
	B (m)	15.4	23.5	9.9	23.5	3.93
SETIEMBRE	Ecuación	$B = 2.9 (33.75 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(33.75 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(33.75 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (33.75 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 33.75 --- x
	B (m)	16.85	25.76	10.85	25.79	4.7
OCTUBRE	Ecuación	$B = 2.9 (37.20 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(37.20 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(37.20 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (37.20 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 37.20 --- x
	B (m)	17.69	27.04	11.4	27.08	5.2
NOVIEMBRE	Ecuación	$B = 2.9 (52.64 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(52.64 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(52.64 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (52.64 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 52.64 --- x
	B (m)	21.04	32.16	13.56	32.21	7.4
DICIEMBRE	Ecuación	$B = 2.9 (99.35 \text{ m}^3/\text{s})^{0.5}$	$B = 1.81(99.35 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (\frac{1.2}{0.2}))^{1/2}$	$= \frac{(99.35 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{\frac{1}{2}}}{0.26^{\frac{1}{5}}} (0.030 * 12^{\frac{5}{3}})^{3/3+5(0.5)}$	$= 4.44 (99.35 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{0.5}$	500 ---- 70 99.35 --- x
	B (m)	28.9	44.19	18.6	44.26	13.9