

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

SECCIÓN DE POSGRADO Y SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN



TESIS:

"ANÁLISIS Y PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL PERÚ, APLICACIÓN A UN CASO TÍPICO"

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN ENERGÉTICA**

**VILLANUEVA URE, JUSTO REYNALDO
ALATA REY, JOSUE ELIEZER**

**Lima - Perú
2011**

RESUMEN:

En las diferentes Leyes y Reglamentos del Perú sobre el Uso del Agua (Constitución Política del Perú, Ley de Aguas recientemente promulgado, D.S. 29-94/EM Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas y otros), se trata superficialmente sobre la importancia del caudal ecológico, pero no se determina su obligatoriedad y la cantidad que se debe dejar en el cauce del río para la subsistencia del hábitat en la zona afectada. En los ríos de nuestra Amazonía este problema es irrelevante puesto que siempre disponen de caudales abundantes, aún en la época de estiaje, por lo que en dicha región no se presentan dificultades con el caudal ecológico, lo que si sucede en los ríos costeros, ya que en algunos cauces el caudal se anula y en todo el tiempo de estiaje no se dispone de este vital elemento, causando efectos adversos silvícolas, ecológicos y de salud humana.

Las Centrales Hidroeléctricas que están operando y las que se instalarán en el futuro en estas cuencas, deben dejar una cantidad de agua entre la toma de captación y el canal de descarga. En el Perú, las Centrales Hidroeléctricas dejan una pequeña cantidad de agua que exige el Ministerio de Agricultura en base a las solicitudes que le formulan los escasos y pequeños asentamientos humanos que habitan en dichos lugares (los que varían entre 20 a 40 l/s); todo ello sin obedecer a criterios técnicos y normativos.

En este trabajo se pretende elaborar una metodología en base a la experiencia internacional, a fin de calcular exactamente el caudal ecológico que debe dejar aguas debajo de la captación cualquier Central Hidroeléctrica que utilice las aguas de los ríos costeros del Perú. Como parte práctica se evaluó experimentalmente la central hidroeléctrica de Molloco-Arequipa, a partir de mediciones de caudales mensuales del río Molloco.

En base a la metodología propuesta y los resultados obtenidos del caso, y como aporte adicional del presente trabajo, se propone al ente normativo del Perú, que implemente una ley específica tal que obligue a aplicar y respetar en toda actividad hidroenergética nacional la condición ecológica y medioambiental del caudal.

PALABRAS CLAVE:

Caudal ecológico, Medio Ambiente, Hábitat, Central Hidroeléctrica, Cuenca Hidrográfica, Estiaje, Desertificación, Indicadores de Calidad de Agua.

SUMMARY:

In the different Laws and Regulations of the Peru on the use of the Water (Political Constitution of the Peru, recently promulgated Law of Waters, D.S. 29-94/EM Regulation of environmental Protection in the Electric and other Activities), it is superficially about the importance of the ecological flow, but it is not determined their should and the quantity that it should be left in the bed of the river for the subsistence of the habitat in the affected area. In the rivers of our Amazonia this problem is irrelevant since they always have abundant flows, still in the low water time, for what in this region difficulties are not presented with the ecological flow, that that if it happens in the coastal rivers, since in some beds the flow is annulled and in the whole time of low water it doesn't have this vital element, causing effects adverse silvicals, ecological and of human health.

The Hydroelectric Power stations that are operating and those that will settle in the future in these basins should leave a quantity of water among the taking of reception and the channel of discharge. In the Peru, the Hydroelectric Power stations let a small quantity of water that it demands the Ministry of Agriculture based on the applications that formulate him the scarce and small human seats that you inhabit this places (those that vary among 20 to 40 l/s); everything it without obeying technical and normative approaches.

In this work it is sought to elaborate a methodology based on the international experience, in order to calculate the ecological flow that it should leave waters under the reception any Hydroelectric Power station that uses the waters of the coastal rivers of the Peru exactly. As part practice it was evaluated the hydroelectric power station of Molloco-Arequipa experimentally, starting from mensurations of monthly flows of the river Molloco.

Based on the proposed methodology and the obtained results of the case, and like additional contribution of the present work, intends to the normative entity of the Peru that implements a such specific law that it forces to apply and to respect in all activity national hidro-energy the ecological and environmental condition of the flow.

KEYWORDS:

Ecological flow, Environment, Habitat, Hydroelectric power, Hydrographic basin, Low water, Desertification, Water quality indicators.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENÉRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 Problemática y formulación del problema.....	8
1.2 Objetivo.....	9
1.3 Hipótesis.....	9
1.4 Variables e indicadores.....	10
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO DE LAS METODOLOGÍAS	
2.1 Metodologías existentes a nivel mundial.....	12
2.1.1 Métodos hidrológicos.....	13
2.1.2 Métodos hidráulicos.....	17
2.1.3 Métodos hidrobiológicos.....	19
2.1.4 Métodos holísticos.....	22
2.1.5 Métodos eco-hidrológicos.....	25
2.2 Comparación de métodos existentes.....	29
2.3 Experiencia normativa de caudal ecológico en otros países.....	32
2.4 Situación actual en el Perú.....	32
2.5 Evaluación de la calidad del agua.....	34
CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL	
3.1 Información de la central hidroeléctrica.....	71
3.2 Información hidrológica existente.....	72
3.3 Metodología en la determinación del caudal ecológico.....	74

3.4	Selección de la especie representativa para la estimación.....	76
3.5	Aplicación de los métodos planteados.....	80
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTE DE LAS HIPOTESIS		
4.1	Selección del caudal ecológico.....	89
4.2	Incrementos en el caudal ecológico.....	91
CONCLUSIONES.....		92
RECOMENDACIONES.....		93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		95

INTRODUCCIÓN

La modificación del flujo hídrico para el funcionamiento de centrales hidroeléctricas o por la extracción del agua ha causado cambios en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos. Por esta razón surge el concepto de "caudal ecológico" con el cual se pretende proteger mediante la mantención de un cierto volumen de agua dentro del cauce los valores ecológicos de los ríos. Sin embargo, las aproximaciones metodológicas utilizadas para determinar esa cantidad de agua necesaria han sido ampliamente criticadas por estimar caudales mínimos constantes sin criterios ecológicos y sin considerar la importancia de la variabilidad natural del régimen hidrológico⁽¹⁾. En este trabajo, por tanto, se presentan y analizan los distintos tipos de métodos utilizados a nivel mundial para la estimación de un caudal ecológico apropiado al Perú.

La gestión ambiental de los recursos hídricos afronta un gran desafío puesto a que se maneja un recurso imprescindible para la vida que ha sido reconocido como escaso y que seguirá siendo demandado a altas tasas. Por otra parte, se intenta asegurar la disponibilidad del agua para múltiples usos dentro de los cuales se reconocen aquellos de tipo ambiental, como lo son la navegación, la recreación y la conservación de los ecosistemas acuáticos, entre otros⁽²⁾.

⁽¹⁾ Guillermo Marraco, paper "Estudio de caudal ecológico para el sistema del río dulce y sus humedales", página 5

⁽²⁾ Idem, página 11

En países como Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea hace tres décadas atrás se ha aplicado un método denominado "instream flow" para intentar garantizar esos usos ambientales manteniendo una cierta cantidad de agua (caudal) dentro de un cauce.

Sin embargo, ha existido una amplia discusión acerca de la efectividad de esta secuencia y de los métodos hasta el momento utilizados a nivel mundial. En general, en el ámbito científico han sido fuertemente criticadas las aproximaciones para calcular el caudal ecológico y cómo ha sido conceptualizado este método. En muchos casos lo que se denomina caudal ecológico corresponde en la realidad a un caudal mínimo. El caudal ecológico tendría como propósito la conservación de ecosistemas específicos y el caudal mínimo es apenas el límite inferior de un caudal que puede ser mantenido dentro del cauce de un río para que se alcancen otros tipos de intereses de protección⁽³⁾.

Frente a esta realidad, surgen las siguientes preguntas: ¿Puede este instrumento servir para cumplir con los objetivos de conservación deseados?, ¿Es posible que con las metodologías existentes para el cálculo de un "instream flow" se pueda asegurar la mantención de los ecosistemas ribereños?, ¿Qué debemos tomar en cuenta para que esto suceda?⁽⁴⁾ y finalmente, a grandes rasgos, ¿Cuáles son las limitaciones para que este instrumento se introduzca en la gestión ambiental de las aguas en el Perú?

Finalmente, el presente trabajo apunta a poder determinar el caudal ecológico en nuestro país en base a la experiencia internacional vigente, buscando para ello una metodología apropiada.

⁽³⁾ D. Baeza Sanz, P. Vizcaíno Martínez, paper "Estimación de caudales ecológicos en dos cuencas de Andalucía. Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas", página 10

⁽⁴⁾ Idem, página 14

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENÉRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PROBLEMÁTICA Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En las diferentes Leyes y Reglamentos del Perú sobre el Uso del Agua (Constitución Política del Perú, Ley de Aguas recientemente promulgado, D.S. 29-94/EM Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas y otros), se trata superficialmente sobre la importancia del caudal ecológico, pero no se determina su obligatoriedad y la cantidad que se debe dejar en el cauce del río para la subsistencia del hábitat en la zona afectada. En los ríos de nuestra Amazonía este problema es irrelevante puesto que siempre disponen de caudales abundantes, aún en la época de estiaje, por lo que en dicha región no se presentan dificultades con el caudal ecológico, lo que si sucede en los ríos costeros, ya que en algunos cauces el caudal se anula y en todo el tiempo de estiaje no se dispone de este vital elemento, causando efectos adversos silvícolas, ecológicos y de salud humana.

Las Centrales Hidroeléctricas que están operando y las que se instalarán en el futuro en estas cuencas, deben dejar una cantidad de agua entre la toma de captación y el canal de descarga. En el Perú, las Centrales Hidroeléctricas dejan una pequeña cantidad de agua que exige el Ministerio de Agricultura en base a las solicitudes que le formulan los escasos y pequeños asentamientos humanos que habitan en dichos lugares (los que varían entre 20 a 40 l/s); todo ello sin obedecer a criterios técnicos y normativos.

1.2 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es plantear una metodología para calcular el caudal ecológico en el diseño, construcción y operación de una central hidroeléctrica; tal que se pueda alcanzar la conservación ecológica y medio ambiental entre la captación y la descarga.

1.3 HIPÓTESIS

1.3.2 HIPOTESIS GENERAL

No existe un único método para determinar el caudal ecológico en los ríos, debido a que cada región del planeta presenta características geográficas propias, por lo tanto se debe buscar los métodos más cercanos a su realidad.

1.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

De todos los métodos utilizados por los países europeos para determinar el caudal ecológico, en particular planteamos que el Método Suizo y el Método Asturiano son los que más se acercan a nuestra realidad debido a que las características topográficas y climatológicas son similares a la de nuestro país. El mejor ajuste lo dará el promedio de ambos métodos.

1.4 VARIABLES E INDICADORES

1.4.1 CAUDAL ECOLÓGICO

El caudal ecológico es un concepto y a la vez una exigencia, para el desarrollo de actividades extractivas, de producción, transformación y servicios, que tienen relación con los recursos hídricos, con la finalidad de contribuir a la protección y conservación ambiental y consecuentemente a la sostenibilidad de las actividades⁽⁵⁾. El caudal ecológico es el caudal mínimo que se requiere para conservar la biodiversidad y los servicios ecológicos de los ríos, el cual debe permitir a los organismos desarrollarse y mantener su población en un buen estado.

La idea de caudal ecológico nace en EEUU en los años 60 como una preocupación por preservar los sistemas acuáticos de los salmones, una especie importante desde el punto de vista económico. Con el transcurrir del tiempo se fueron adicionando nuevos conceptos en los cuales no solamente se tomaban en cuenta peces, si no también otros organismos que forman parte del desarrollo evolutivo⁽⁶⁾. A continuación veamos algunos conceptos que existen sobre caudal ecológico:

- Según el reglamento de la Ley de Recursos Hídricos en el artículo 153 menciona: "Se entenderá 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."
- "Se asocia al caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un sistema acuático preestablecido, cuando no se tienen datos de antecedentes biológicos del río se utilizarán los métodos hidrológicos."

⁽⁵⁾ Scotta Energia Automazione, paper "Memoria de cálculo para el paso del caudal ecológico en la Central Hidroeléctrica del Rio Picoquén-Italia", página 7

⁽⁶⁾ Idem, página 12

- El caudal ecológico debe pensarse o definirse con el propósito de mantener los atributos característicos de un ecosistema.
- En los ríos donde se construyen estructuras hidráulicas de captación (bocatomas), o regulación (embalses), se considera como caudal ecológico, el flujo aguas abajo de dichas estructuras, cuya cantidad debe permitir la vida acuática en el río, en condiciones adecuadas, así como también satisfacer las necesidades de las poblaciones, animales y vegetales si fuera el caso. Este caudal también debe permitir la dilución de efluentes, la conducción de sólidos y el mantenimiento de las características estéticas y paisajistas del medio.
- Si bien no se indica, que los valores de caudal ecológico serán mantenidos en los periodos de estiaje, queda sobre entendido que el término de caudal ecológico es aplicable para las condiciones más críticas de disponibilidad de agua, es decir para los meses de estiaje que se presentan entre los meses de Abril a Noviembre. Los siguientes meses, la disponibilidad de agua es mayor, por lo tanto, los caudales ecológicos se verán superados ampliamente.

1.4.2 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA

Son parámetros físicos y químicos, que se pueden medir y comparar a fin de determinar el uso de un flujo de agua en un río. Los más importantes son:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Oxígenos Disueltos
- Sólidos Suspendidos Totales
- Índice de Iones de Hidrogeno (pH)
- Mercurio
- Plomo
- Grasa y Aceites

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO DE LAS METODOLOGÍAS

La metodología consiste en, a partir de técnicas o enfoques de determinación de caudal ecológico para la instalación y operación de centrales hidroeléctricas, y con referencias a nivel internacional, se evalúa y propone una técnica apropiada para las características específicas que poseen los ríos costeros que conforman el parque hidro-energético del Perú. Como parte práctica se realizan mediciones correspondientes a una auditoria hidro-ecológica de un río representativo (río Molloco) del que se aprovecha mediante una central para la generación de energía hidroeléctrica. En base a estos resultados se propone las condiciones a tomar en el parque de centrales hidroeléctricas del Perú.

2.1 METODOLOGIAS EXISTENTES A NIVEL MUNDIAL

No existe un método óptimo o ideal, para determinar el caudal ecológico apropiado en forma general. Pero si existen una serie de métodos para determinar el caudal ecológico de acuerdo a criterios, objetivos y los servicios ambientales que ofrece la fuente hídrica a lo largo de su recorrido⁽⁷⁾.

⁽⁷⁾ Diego García de Jalón, Marta González del Tánago, paper "El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles", página 9

Según la información encontrada, puede considerarse que en la actualidad, básicamente existen cinco métodos, a partir de los cuales se perfilan todas las metodologías existentes de cálculo de caudales ecológicos, estos son:

- Métodos hidrológicos.
- Métodos hidráulicos.
- Métodos hidrobiológicos.
- Métodos holísticos.
- Métodos eco hidrológicos.

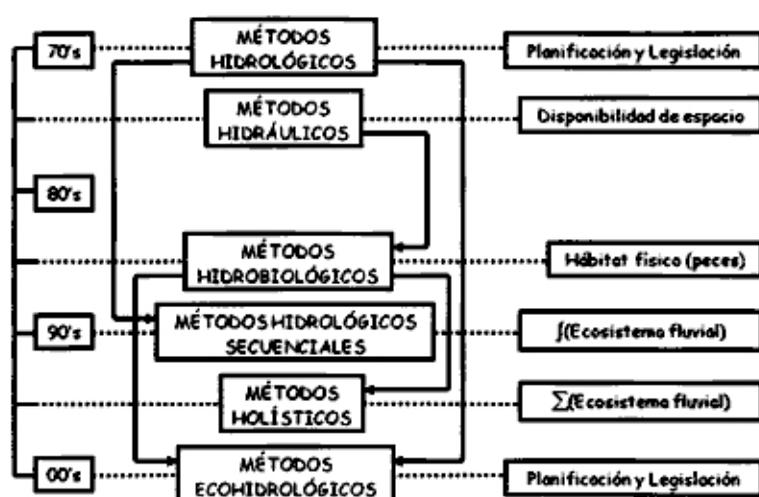


Figura 2.1 Metodologías existentes

2.1.1 MÉTODOS HIDROLÓGICOS

El caudal ecológico se determina a partir de datos hidrológicos tratados de distintas formas (caudales promedios, tanto por ciento del caudal medio, análisis de series temporales, etc.).

Basados generalmente en índices hidrológicos (% del caudal promedio) o comportamiento histórico (estadísticas) del comportamiento del caudal; utilizan los registros históricos de caudal, como datos diarios, mensuales, medias, etc. para derivar directamente de ellos las recomendaciones de caudal ecológico.

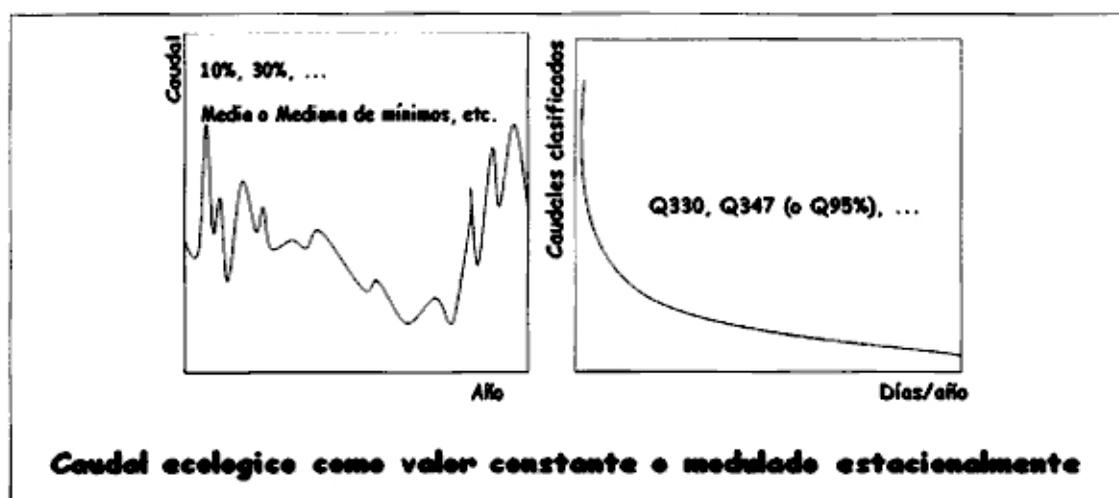


Figura 2.2 Métodos hidrológicos

Los métodos desarrollados dentro de este enfoque son:

2.1.1.1 MÉTODO DE TENNANT

En este método los caudales de reserva ó ecológicos se calculan a partir de los escurrimientos históricos del tramo de río en estudio y de una serie de criterios cualitativos, de tal manera que los caudales corresponden a diferentes porcentajes del caudal medio según la época del año.

Se fundamenta en estudios de campo realizados en 11 corrientes distribuidas en los estados de Montana, Whyoming y Nebraska, de los Estados Unidos de América (EUA). Los estudios fueron planeados, conducidos y analizados por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los EUA⁽⁸⁾.

El trabajo incluyó análisis físicos, químicos y biológicos de 38 diferentes corrientes, realizados en 58 secciones transversales ubicadas en 196 millas de estas mismas; incluyendo pesquería de aguas frías y templadas. Los estudios mostraron que las condiciones del hábitat acuático son considerablemente

⁽⁸⁾ Guillermo Marraco, paper "Estudio de caudal ecológico para el sistema del río dulce y sus humedales", página 3.

semejantes en la mayoría de los ríos en los que circula una porción similar del caudal medio⁽⁹⁾.

Este método proporciona, de una manera rápida y económica, una primera aproximación en la determinación de los caudales ecológicos, los cuales deberán ir siendo afinados tomando en cuenta el comportamiento de la flora y fauna, la topografía del cauce, así como la calidad del agua. El método de Tennant se resume en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Régimen de caudales según el Método de Tennant

Criterio cualitativo para fijar caudales de reserva ecológica	Caudales recomendados	
	octubre - marzo	abril - septiembre
Máximo	200% de caudal medio	200% de caudal medio
Rango óptimo	60% al 100% del caudal medio	60% al 100% del caudal medio
Excepcional o sobresaliente	40%	60%
Excelente	30%	50%
Bueno	20%	40%
Aceptable o en degradación	10%	30%
Mínimo o pobre	10%	10%
Degradación severa	< 10%	< 10%

La desventaja para su aplicación en otros lugares es que se requiere calcular de nuevo los índices y estudio de especies.

2.1.1.2 MÉTODO DE HOPPE

Reconoce la relación entre los percentiles de la curva de duración de caudales y las condiciones favorables para la biota. Este método usa valores de porcentaje de excedencia de la curva de duración de caudales para definir unos caudales mínimos asociados a diferentes estados de crecimiento de los peces⁽¹⁰⁾.

⁽⁹⁾ Guillermo Marraco, paper "Estudio de caudal ecológico para el sistema del río dulce y sus humedales", página 6.

⁽¹⁰⁾ Idem, página 15.

2.1.1.3 MÉTODO DE RANGO DE VARIABILIDAD (RVA)

Según sus propios autores, este método ha sido ideado para casos en que se tenga como primer objetivo de manejo la conservación de los ecosistemas. Se basa en datos de largos periodos de tiempo donde se describe la variabilidad hidrológica antes y después de instalada una represa. Consiste en tener una descripción del flujo natural a través de 32 parámetros definidos por Ritcher (1996) como claves en el funcionamiento del ecosistema para luego estimar un rango de variación máximo de estos parámetros. Con este método se recomienda un sistema de manejo con objetivos anuales intentando emular o "imitar" las características del flujo natural después del funcionamiento de la represa o hidroeléctrica. Esta metodología depende el monitoreo continuo para la redefinición de sus objetivos⁽¹¹⁾.

2.1.1.4 MÉTODO ECUATORIANO

Este método consiste en tomar el 5% del caudal medio anual de los últimos 10 años, este método es muy usado por varios países de América Latina.

En este método se reconoce que la variación hidrológica juega un papel importante en la estructura de la diversidad biótica, además de controlar las condiciones de hábitat dentro del canal, llanuras de inundación y humedales.

2.1.1.5 MÉTODO ESCOCES

Consiste en tomar el 20% del caudal medio mensual de 3 meses críticos consecutivos, es usado también por varios países de América Latina. Este método considera la importancia del factor ecológico, como la conservación de las especies de la zona, a fin de preservar el ecosistema.

⁽¹¹⁾ Guillermo Marraco, paper "Estudio de caudal ecológico para el sistema del río dulce y sus humedales", página 19

2.1.2 MÉTODOS HIDRÁULICOS

El caudal ecológico se deduce de la relación entre algún parámetro hidráulico (normalmente el perímetro mojado o la profundidad máxima del río) y el caudal.

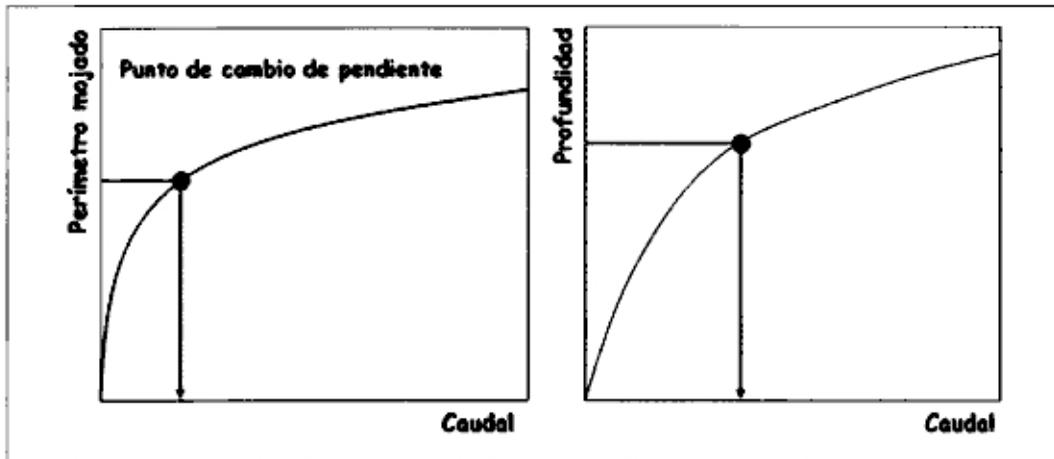


Figura 2.3 Métodos hidráulicos

Los métodos desarrollados dentro de este enfoque son:

2.1.2.1 MÉTODO DEL PERÍMETRO MOJADO

Este método asume que la integridad del hábitat está directamente relacionada con el área húmeda. Consiste básicamente en la construcción de curvas que muestran la relación entre el caudal y el perímetro mojado.

A partir de ellas puede observarse que hasta un cierto volumen de agua el perímetro crece rápidamente a medida que aumenta la descarga pero sobrepasado este volumen el perímetro se mantiene casi constante.

Generalmente el flujo recomendado es aquel cerca de este punto de inflexión pues se presume es el nivel óptimo para el desove de peces o para la producción de invertebrados bentónicos⁽¹²⁾.

⁽¹²⁾ Guillermo Marraco, Paper "Estudio de caudal ecológico para el sistema del río dulce y sus humedales", página 23.

2.1.2.2 MÉTODO DE INDICADORES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA DE RICHTER

Define a través de índices los caudales de referencia para ríos o quebradas en los que el objetivo primario es la protección del ecosistema natural.

El método tiene en cuenta:

- Caudales máximos y mínimos
- Periodicidad de los eventos
- Frecuencia o cantidad de eventos
- Duración con promedios máximos y mínimos

Utiliza caudales diarios y 32 índices, calculados sobre una base anual del comportamiento hidrológico y su variabilidad estadística (DS).

La desventaja es que no existe suficiente investigación para relacionar el método con las variables ambientales del ecosistema.

2.1.2.3 MÉTODO DE VARIACIÓN HIDRÁULICA

Utilizan cambios en variables hidráulicas, como perímetro húmedo o área de lecho sumergido, para definir el caudal ecológico. De tal manera que los ríos anchos y poco profundos tienden a ser más sensibles a cambios en el caudal en su perímetro húmedo que los ríos angostos y profundos.

Existen problemas en la determinación del umbral de descargas por debajo de las cuales el perímetro húmedo se reduce con rapidez⁽¹³⁾.

2.1.2.4 MÉTODO LIFE

El índice Invertebrado Lótico para Evaluación de Caudales (LIFE) está basado en el monitoreo continuo de macro-invertebrados a lo largo del río y caudal antes de la obra. Para esto se elaboró un índice de sensibilidad percibida a la

⁽¹³⁾ D. Baeza Sanz, P. Vizcaino Martínez, paper "Estimación de caudales ecológicos en dos cuencas de Andalucía. Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas", página 4

velocidad del agua mediante la asignación de un puntaje de 1 a 6 y de acuerdo a la abundancia de invertebrados (especies o familias).

Desventajas de los métodos hidráulicos

- Resulta difícil e incluso imposible derivar índices bióticos que sean solo sensibles a caudales y no a otros factores, como estructura del hábitat y calidad del agua.
- La ausencia de datos tanto hidrológicos como biológicos o datos no adecuados se convierte en un factor limitante para la aplicación de los métodos.
- Las series temporales de caudales y los índices ecológicos pueden no ser independientes, lo cual puede infringir los supuestos de la estadística descriptiva.
- Asumen que una variable hidráulica o un grupo de ellas pueden representar adecuadamente las necesidades de caudal de las especies de un río.
- No tienen en cuenta la variación del régimen de caudales⁽¹⁴⁾.

2.1.3 MÉTODOS HIDRO-BIOLÓGICOS

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. Entre los métodos más usados tenemos:

⁽¹⁴⁾ D. Baeza Sanz, P. Vizcaino Martínez, paper "Estimación de caudales ecológicos en dos cuencas de Andalucía. Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas", página 18

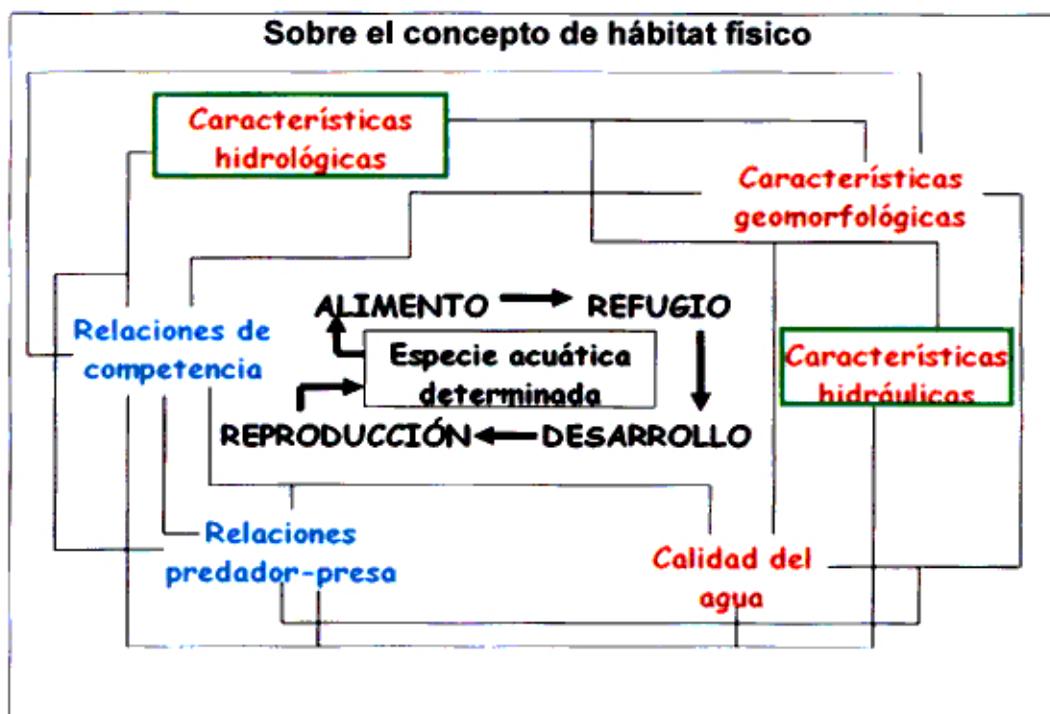


Figura 2.4 Métodos hidrobiológicos

2.1.3.1 MÉTODO DE INCREMENTO DEL CAUDAL (IFIM)

Se trata de un método hidrobiológico que se basa en los conceptos de la metodología IFIM (Instream Flow Incremental Methodology), creada por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos de América para relacionar los valores ecológicos de los ríos con los usos potenciales de sus aguas en términos comparables, y de esta forma planificar en forma objetiva la utilización de los recursos hídricos⁽¹⁵⁾.

Parte de los siguientes principios elementales:

- a) El caudal ecológico de un río es el flujo necesario para mantener las condiciones del ecosistema en niveles ambientalmente aceptables.
- b) El caudal más deseable es aquel que satisface numerosos usos a la vez.
- c) Debe darse una consideración preferencial a aquellos usos de mayor relevancia.

⁽¹⁵⁾ SCOTTA ENERGIA AUTOMAZIONE, Paper "Memoria de cálculo para el paso del caudal ecológico en la Central Hidroeléctrica del Río Picoiquén-Italia", página 10

- d) Resalta la importancia del efecto de la alteración del caudal sobre los recursos biológicos.

2.1.3.2 MÉTODO PHASBIM (PHYSICAL HABITAT SIMULATION)

Los modelos biológicos están basados en la ecología de organismos indicadores (macro-invertebrados acuáticos, peces). Se desarrollan a partir de datos ecológicos que pueden tener un valor local (adaptación de los modelos para cada caso) o regional (un modelo por cada región).

Evalúa sobre un tramo del río y por un rango de caudal, la calidad del hábitat. Relacionando las estimaciones de condiciones físicas del hábitat y el valor ecológico de esas condiciones para los organismos.

Analiza temporalmente las condiciones del hábitat. Luego adecua para cada temporada del ciclo hidrológico natural, el caudal mínimo que asegura la realización de los ciclos biológicos de los organismos más sensibles⁽¹⁶⁾.

Se fundamenta en la caracterización del hábitat a través de curvas que representen el comportamiento de la fauna acuática, asociados a caudales y velocidades en los tramos del cauce del río.

Ventajas

- Permite predecir los cambios en el micro hábitat físico asociadas a modificaciones en la disminución del caudal.
- Acopla modelos biológicos e hidrológicos para evaluar los cambios en las comunidades biológicas consecuentes a la modificación de las condiciones hidrológicas.

⁽¹⁶⁾ Diego García de Jalón, Marta González del Tánago, paper "El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles", página 6

Desventajas

- Requiere para su manejo de un profesional con experiencia tanto en el manejo del modelo como de la información que requiere.
- Es específico para evaluar el hábitat disponible para especies de peces en el tramo de interés.
- Está muy desarrollado para el salmón, pero no se ha probado para especies como la trucha, bocachico, bagre, etc.
- Es muy exigente en información tanto hidráulica como de la especie, lo que restringe su aplicación en nuestro medio.

2.1.4 MÉTODOS HOLÍSTICOS

Se asume que si son identificadas las características esenciales del flujo hídrico que pueden generar un impacto ecológico y estas son incorporadas dentro de un régimen de flujo modificado, entonces la biota y la integridad funcional del ecosistema será mantenida⁽¹⁷⁾.

Su principio básico es similar al de los métodos hidrológicos secuenciales, pero más que un método, es un procedimiento donde el caudal ecológico se deduce buscando una solución consensuada a partir de un análisis independiente de la magnitud y distribución de caudal que necesitan los componentes del ecosistema fluvial, sean aspectos abióticos, ecológicos, perceptuales, socioeconómicos o todos en conjunto.

En resumen, sigue un modelo participativo de consenso, basado en un panel de expertos, por lo que es de aplicación local. Los métodos holísticos consideran 2 aspectos: el hidrológico y el ecológico.

⁽¹⁷⁾ Pablo Olivares G., "Estimación de Caudales Ecológicos", página 16

Aspectos Hidrológicos

Se busca conservar la estacionalidad natural y la variabilidad de caudales, incluyendo inundaciones y el régimen de caudales de estiaje.

Aspectos Ecológicos

Cifras de población o índices de estructura comunitaria calculados a partir de listas de especies.

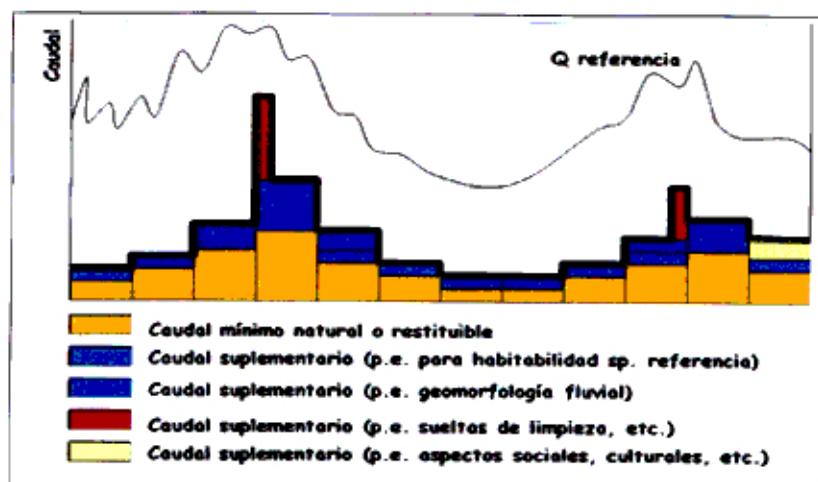


Figura 2.5 Métodos holísticos

Los métodos desarrollados dentro de este enfoque son:

2.1.4.1 MÉTODO DE BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN (BBM)

Se realiza en base de grupos de trabajos multidisciplinarios, tomando en cuenta trabajos de investigación ya realizados, modelos para entender la respuesta del caudal, características hidráulicas y juicios de expertos.

Uno de los pasos críticos es la estimación de la importancia económica y social del área de estudio, realizándose una evaluación de la dependencia social y económica de los ecosistemas ribereños en conjunto con la comunidad⁽¹⁸⁾.

⁽¹⁸⁾ Gabriela Jarrett Domínguez, "Evaluación del instrumento caudal ecológico, panorama legal e institucional en Chile y Brasil", página 13

Se determinan y describen en términos de duración y magnitud los flujos que se recomendarán. La descripción de cada uno de los componentes del flujo son considerados como los building block, conformando los requerimientos de flujo para una cuenca o río. Se denomina de tipo *Bottom-Up* ya que el caudal recomendado es estimado a partir de un flujo mínimo hacia valores más altos.

2.1.4.2 MÉTODO DE BENCHMARKING Ó APROXIMACIÓN TOP-DOWN

Se basa en principios similares al método Building Block. A diferencia del mismo, el caudal es determinado a partir de un flujo máximo aceptable hasta valores menores (aproximación Top-Down). Con información disponible, modelos conceptuales y juicio de experto se identifican indicadores hidrológicos que son considerados ecológicamente relevantes.

Con estos indicadores son caracterizados cauces escogidos dentro de un río como bench mark o de referencia. En estos cauces de referencia no existe necesariamente un flujo natural pero cubren variados tipos y niveles de flujo que se registran en la cuenca. Posteriormente en estos sitios se relacionan impactos ecológicos en función de cambios en el flujo hídrico, de esta manera se investiga cuánto puede cambiar el flujo del agua antes de que el ecosistema sea degradado⁽¹⁹⁾.

2.1.4.3 MÉTODO DE CAUDAL DE GARANTÍA AMBIENTAL (EPM)

Método aplicado por las EPM, donde mediante 7 pasos se definen los límites mínimos de caudal ecológico, que pueden ser tolerados por un curso de agua, contemplando aspectos físicos, químicos, bióticos, sociales y estéticos, como:

⁽¹⁹⁾ Diego García de Jalón, Marta González del Tánago, paper "El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles", página 24

- A) Definición del caudal ambiental natural
- B) Evaluación ambiental multivariable
- C) Determinación del caudal de garantía ambiental
- D) Determinación de los caudales de recuperación
- E) Determinación de caudal adicional
- F) Determinación de requerimientos excepcionales
- G) Presupuesto de agua.⁽¹⁹⁾

2.1.5 MÉTODOS ECO-HIDROLÓGICOS

Es un enfoque híbrido entre el hidrológico y el hidrobiológico. El caudal de mantenimiento se calcula a partir de datos hidrológicos, pero adoptando como referente los requerimientos de una o varias especies objetivo. No utiliza simulación hidráulica. Es un enfoque muy adecuado para planificación.

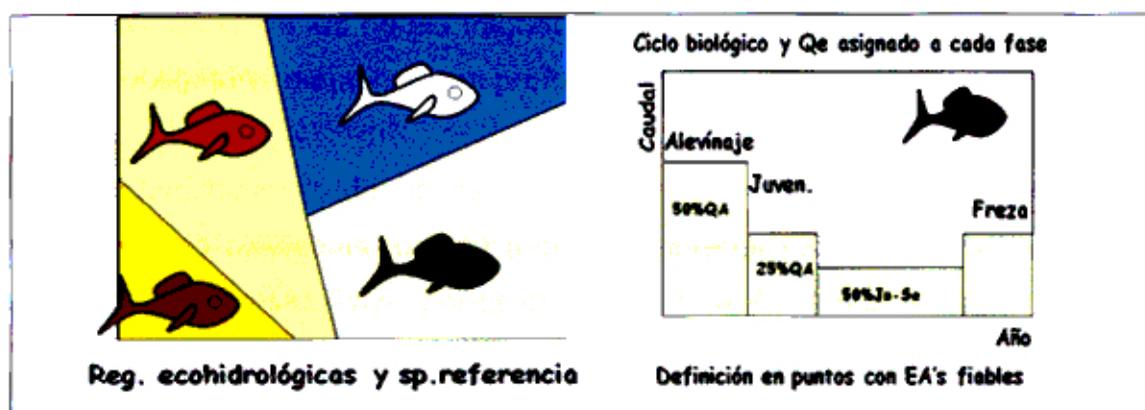


Figura 2.6 Métodos eco-hidrológicos

Entre los más usados tenemos:

- El Método Suizo
- El Método Asturiano

⁽¹⁹⁾ Diego García de Jalón, Marta González del Tánago. Paper "El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles", página 11

2.1.5.1 MÉTODO SUIZO

La legislación suiza se basa en un método que utiliza unas fórmulas empíricas para la cuantificación del caudal mínimo, pero con unas premisas de carácter cualitativo, a saber:

- El caudal mínimo debe permitir el mantenimiento de la calidad de las aguas superficiales, contando con los vertidos de aguas utilizadas y los existentes en los planes futuros.
- Se deben mantener los niveles de los acuíferos subterráneos, de manera que no se vean perjudicados ni la vegetación ni los usos de agua potable actuales y previstos en el futuro.
- Se deben conservar los biotopos y biocenosis raras y los lugares de esparcimiento particularmente bellos, cuyo aspecto y estética ambiental dependan de la cantidad de agua circulante. Para no entorpecer el movimiento de los peces migratorios y si el caudal es superior a 50 l/s, es obligatorio mantener una profundidad de al menos 20 cm en el cauce.

Para el establecimiento del caudal mínimo se hace una distinción entre aguas piscícolas y no piscícolas (o bien aguas sin interés piscícola aunque tengan peces, por las escasas dimensiones de los cauces). Así tendríamos:

Aguas no piscícolas

Un mínimo de 50 l/s o el 35% del caudal que es superado 347 días al año (Q_{ps}) siempre que sea menor o igual a 1 m³/s.

Aguas piscícolas

Se hacen distinciones en función de Q_{ps}

- Para $Q_{ps} > 60$ l/s; el caudal ecológico mínimo sería 50 l/s, añadiéndose 8 l/s por cada 10 l/s adicionales.
- Para $Q_{ps} > 160$ l/s; el caudal ecológico mínimo sería 130 l/s, añadiéndose 4,4 l/s por cada 10 l/s adicionales.

- Para $Q_{ps} > 560$ l/s; el caudal ecológico mínimo sería 280 l/s, añadiéndose 31 l/s por cada 100 l/s adicionales.
- Para $Q_{ps} > 2500$ l/s; el caudal ecológico mínimo sería 900 l/s, añadiéndose 21,3 l/s por cada 100 l/s adicionales.
- Para $Q_{ps} > 10000$ l/s; el caudal ecológico mínimo sería 2500 l/s, añadiéndose 150 l/s por cada 1000 l/s adicionales.
- Para $Q_{ps} > 60000$ l/s; el caudal ecológico mínimo sería de 10000 l/s.

Para calcular el valor de Q_{ps} se propone la siguiente ecuación:

$$Q_{ps} = (a \cdot Q_{M.A}) / 10$$

Siendo " $Q_{M.A}$ " el caudal medio anual y "a" un coeficiente que toma los valores entre: 0,9; 1,8 y 2,7; dependiendo la variedad de peces que el río tenga.

Puede observarse, que para los casos de turbinación a pie de presa, los caudales mínimos obtenidos son suficientes para dimensionar un dispositivo de franqueo eficaz, pero claramente insuficientes para mantener un tramo de río en condiciones habitables.

La base de aplicación de estos métodos y fórmulas consiste en que si no se sobrepasan (por debajo) los mínimos alcanzados naturalmente en el estiaje, la biocenosis original puede mantenerse.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que esto no es del todo cierto. Las distintas poblaciones estarán adaptadas para tolerar unas condiciones de sequía durante un cierto tiempo, pero no de forma continuada.

La exposición momentánea de un individuo a condiciones desfavorables no tiene graves consecuencias, pero la exposición prolongada a las mismas condiciones tiene efectos muy diferentes. Un estiaje estacional y temporal se traduce en unas condiciones de profundidad, velocidad y temperatura de las

aguas más o menos desfavorables para algunas especies. Se producirán unos reajustes en el ecosistema, que durarán tanto como dure el estiaje. Si el estiaje es mantenido de forma artificial, y es permanente, los reajustes seguirán hasta que se alcance un nuevo equilibrio, con el resultado final de un ecosistema totalmente diferente al de partida.

2.1.5.2 MÉTODO ASTURIANO

La normativa asturiana establece tres niveles de protección de los cauces, basando el cálculo del caudal mínimo en el método suizo. El caudal mínimo se calcula a partir del Q_{ps} , obtenido mediante la fórmula aceptada por la legislación suiza antes mencionada.

Para el nivel de protección, el caudal ecológico mínimo será el mayor de los valores obtenidos de las siguientes fórmulas:

- $Q_{ECO} = 50 \text{ l/s}$ (1)
- $Q_{ECO} = 0,35 \cdot Q_{ps}$ (2)
- $Q_{ECO} = (15 \cdot Q_{ps}) / (\ln Q_{ps})^2$ (3)
- $Q_{ECO} = 0,25 \cdot Q_{ps} + 75 \text{ l/s}$ (4)

Los valores han de introducirse en litros por segundo; los resultados obtenidos por aplicación de las fórmulas (3) y (4) son incongruentes si se introducen los valores de caudal en metros cúbicos por segundo.

Este método es utilizado también por la Confederación Hidrográfica del Norte de España (CHNE).

2.2 COMPARACIÓN DE MÉTODOS EXISTENTES

Según la base teórica, los distintos tipos de métodos (a excepción de los métodos holísticos y RVA) expresan un deseo de mantener un cierto caudal para conservar a poblaciones y generalmente tipos de peces. No pretenden conservar a un nivel eco sistémico.

Los métodos de Curva de Permanencia, el Método de Tennant, el método de Perímetro Mojado e IFIM solo toman en cuenta la magnitud mínima del caudal como factor limitante en los requerimientos bióticos, siendo que está ampliamente estudiada la importancia de los otros componentes del flujo en las interacciones e historias de vida de la biota acuática. Al estimar un flujo mínimo no toman en cuenta los requerimientos de flujo para mantener la vegetación terrestre adyacente, la zona hiporreica y las zonas de inundación. Desde un punto de vista eco sistémico se dejan de considerar intercambios de materiales y nutrientes que pueden ser importantes afectando la funcionalidad del ecosistema.

Los métodos de tipo hidrológico, excepto RVA, tienen una base estadística simple; se calculan caudales según las probabilidades de ocurrencia de ciertos eventos de sequía o frecuencia de caudales bajos. Luego, estos caudales son relacionados con tasas de producción o sobrevivencia de alguna población objetivo. Lo anterior puede generar dos críticas importantes. Al basarse un instrumento en resultados estadísticos simples se desconoce el carácter complejo de los sistemas ambientales y la gran incertidumbre que los caracteriza. Por otra parte, los flujos mínimos que ocurren infrecuentemente generan efectos de corto plazo muy diferentes a los efectos de largo plazo que se producen por mantener estos flujos mínimos como constantes en el tiempo.

En tanto, el método de RVA puede ser útil si se estudian las características de los ecosistemas y los efectos compuestos entre el cambio del flujo natural y los impactos generados por las diversas actividades humanas en el ecosistema, por ejemplo la agricultura. Una de las críticas a este método es que no se ha considerado estudiar si las variables del flujo seleccionadas son independientes una de otras.

En términos de gestión, en el método RVA se han descrito muy bien los indicadores y la necesidad de un sistema de gestión continuo ya que este método se basa en una gestión adaptativa.

Específicamente, el Método de Perímetro Mojado tiene una suposición muy simplista, solo una o pocas variables hidráulicas pueden representar adecuadamente el requerimiento de caudal para especies objetivo. Por otra parte, se sabe que la relación entre el caudal y el perímetro mojado depende de la forma de los cauces, por lo tanto, si se realiza una curva con una sola sección transversal no se representan las características de todo un río. Además con este método se presupone que la morfología del cauce se mantiene estable a lo largo del tiempo lo que hace difícil su aplicación en cursos de agua con elevada variabilidad morfológica como es el caso de los cursos de agua de las regiones semiáridas. En términos de gestión, el método de Perímetro Mojado ha sido aplicado principalmente en ríos que presentan secciones transversales relativamente largas, rectangulares y poco profundas, lo cual no es representativo de todos los ríos.

En lo que respecta a los métodos de simulación de hábitat, estos contienen una serie de suposiciones que han sido criticadas por no ser validadas o por no corresponder a la realidad. Por otra parte, con este método se han calculado caudales de una magnitud similar a los calculados por métodos más simples.

Por último, la aplicabilidad de este método en cursos de agua de regiones semiáridas es restringida por el hecho de que existen caudales muy bajos y con una alta diversidad morfológica lo que impide o dificulta caracterizar un trozo de curso de agua en base a algunos tramos.

Los métodos holísticos, en tanto, a pesar de no solo basarse en algunas poblaciones objetivo, aún no incorporan estudios ecosistémico. Uno de los grandes beneficios de este método es la inclusión de la participación ciudadana y la realización de un estudio social y económico de la dependencia humana de los ecosistemas. En términos de gestión, debe tenerse cuidado en que valores arrojados por estudios en otros países o que las recomendaciones en los pasos

a seguir se tornen muy rigurosas (tomando en cuenta que la base de este método es el juicio de expertos).

En la Tabla 2.2 se comparan los métodos en base a aspectos ecológicos y de gestión. En relación a estos últimos, se detalla si los métodos contienen indicadores para su revisión, así como su grado de aplicabilidad en distintos tipos de ecosistemas. Se consideran de baja aplicabilidad métodos que no pueden ser utilizados en la mayoría de los ecosistemas acuáticos, como por ejemplo, los métodos hidráulicos que consideran ríos con cauces estables y secciones rectangulares. En cuanto a métodos de aplicabilidad alta con precaución, se refiere a que pueden ser aplicados en una alta variedad de ecosistemas acuáticos pero con el cuidado de no adoptar los valores que se determinan con los métodos en diferentes ecosistemas; solo serían generalizables sus procedimientos. Los costos que en ella se presentan son relativos a los costos de los métodos con que se comparan, así mismo la complejidad fue estimada por estos investigadores tomando en cuenta el tiempo requerido para llevar a cabo la determinación, el grado de conocimientos y la necesidad de personal calificado o número de especialistas.

Tabla 2.2 Comparación de métodos

Aspectos Ecológicos			Aspectos de Gestión		
Tipo	Objetivos de conservación	Indicador	Aplicabilidad	Complejidad	Costos relativos
Hidrológico	En general, poblaciones y peces	SI	Baja	Baja	Bajos
Hidráulico	Ecosistemas	SI	Alta con precaución	Baja a media	Medios
Hidro-biológico	En general, poblaciones y peces	SI	Baja	Baja a media	Bajos a medio
Holístico	En general, poblaciones y peces	SI	Baja	Media a alta	Altos
Eco-hidrológico	Ecosistemas, valores económicos y culturales	SI	Alta	Media	Medios a altos

2.3 EXPERIENCIA NORMATIVA DE CAUDAL ECOLÓGICO EN OTROS PAISES

- Colombia: IDEAM determinó que el caudal mínimo ecológico debe ser del 25% del caudal medio mensual (multianual) más bajo del río en estudio.
- Brasil: DNAEE estableció que el caudal ecológico no puede ser inferior al 80% del menor valor promedio mensual medido en ese lugar en todo el periodo de observaciones disponibles.
- España: La Ley de aguas estableció un caudal ecológico equivalente a 2 l/s por km² de cuenca hidrográfica, pero las autoridades regionales pueden exigir un caudal de reserva mayor.
- Francia: La Ley de pesca en aguas dulces, determinó que en ríos donde el caudal medio anual fuese menor de 80 m³/s, el caudal ecológico sería del 10% del caudal medio anual. Para los demás ríos el caudal ecológico se exige solo un 5%.
- Escocia: El consejo regional determinó un caudal ecológico en función de las especies migratorias de peces que se presenten en cada río. generalmente varía entre el 5% y el 25% del caudal máximo anual, con un 10% como promedio.

2.4 SITUACIÓN ACTUAL EN EL PERÚ

En el Perú la autoridad competente "Autoridad Nacional del Agua" dependencia que pertenece al Ministerio de Agricultura, aun no ha definido la metodología a aplicar, sin duda debido a la heterogeneidad de regímenes hídricos de cada una de las cuencas del país, tal como se menciona:

“Las metodologías para la determinación del caudal ecológico, serán establecidas por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, con la participación de las autoridades sectoriales competentes, en función a las particularidades de cada curso o cuerpo de agua y los objetivos específicos a ser alcanzados.”⁽²⁰⁾

Dejando a potestad de las empresas ejecutoras, la estimación de los caudales ecológicos, con criterios subjetivos y aplicables a cada uno de los espacios donde se desarrollan los proyectos.

Los caudales ecológicos se fijarán en los planes de gestión de los recursos hídricos en la cuenca. Para su establecimiento, se realizarán estudios específicos para cada tramo del río. Actualmente, el Perú cuenta con 14 macro cuencas y 103 cuencas hidrográficas, es por ello que para determinar los caudales ecológicos no se puede considerar un solo método generalizado a diferencia de otros países europeos.

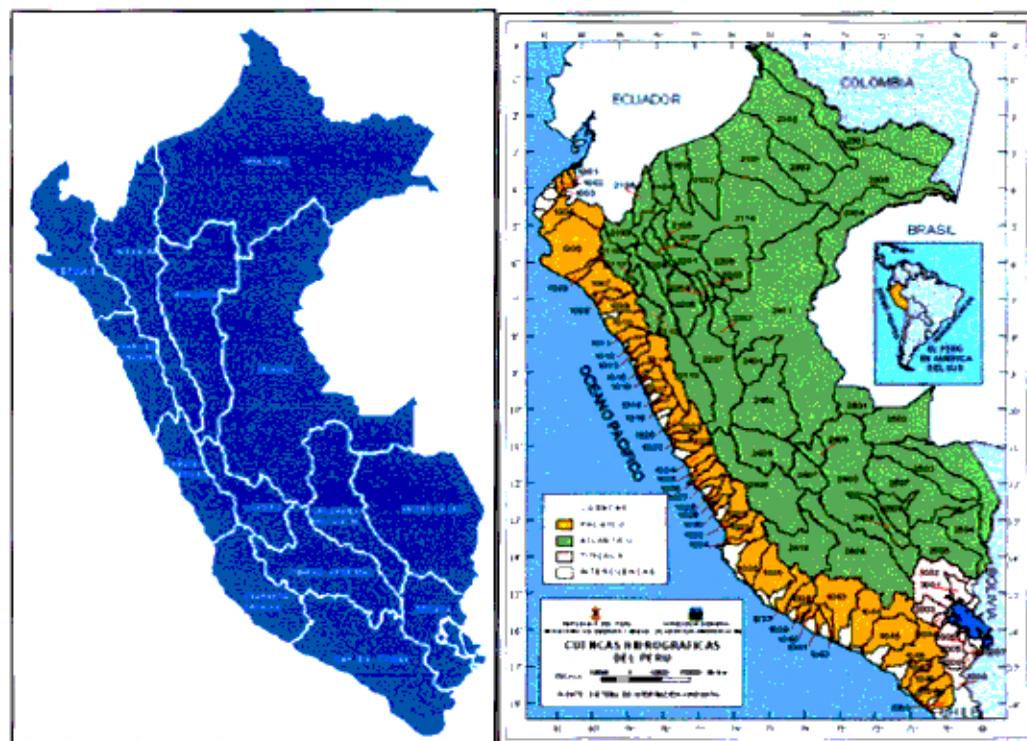


Figura 2.7 Cuencas hidrográficas del Perú

⁽²⁰⁾ Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338

2.5 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros de calidad del agua que deben ser monitoreados entre la captación y la descarga de las instalaciones hidráulicas, y/o mineras, tienen que guardar relación con los contaminantes potenciales que pueden estar presentes en las aguas residuales. Los parámetros que se muestran a continuación, deben estar incluidos, como mínimo, en cualquier programa de monitoreo de calidad del agua, como en centrales hidráulicas, extracción de petróleo, aguas residuales de las refinerías de petróleo, y explotación minera.

2.5.1 PARÁMETROS DE MONITOREO

Los parámetros de monitoreo son:

- Temperatura
- pH
- Aceites y grasas
- Demanda bioquímica de Oxígeno
- Sólidos Totales Disueltos
- Oxígeno Disuelto
- Conductividad eléctrica
- Cianuro libre
- Sólidos totales suspendidos
- Nitritos
- Nitratos
- Fosfatos
- Cloruros

- Sulfatos
- Demanda Química de Oxígeno
- Nitrógeno Amoniacal
- Sulfuros
- Fenoles
- Hidrocarburos totales de Petróleo
- Metales totales
- Mercurio
- Coliformes Totales

A) Temperatura (T°)

La temperatura es una variable muy importante en el medio acuático, pues influye en el metabolismo de las especies, como productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica.

El agua extraída de los pozos productivos del Perú tiene temperaturas elevadas en algunos casos (por ejemplo la selva amazónica) y, por lo general, retornan al medio ambiente antes de enfriarse hasta temperatura ambiente. Las descargas de agua a altas temperaturas pueden causar daños a la flora y la fauna de las aguas receptoras al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización.

B) pH

El pH (Índice de iones de Hidrógeno) es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14. Estos valores miden el grado de acidez o basicidad de

una solución. Los valores inferiores a siete y próximos a cero indican aumento de acidez; los que son mayores de siete y próximos a 14 indican aumento de la basicidad, mientras que cuando el valor es siete indica neutralidad.

Las medidas de pH son de extrema utilidad, pues nos proveen muchas informaciones con respecto a la calidad del agua. Las aguas superficiales tienen pH entre 4 y 9. Algunas veces son ligeramente alcalinas por causa de la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Generalmente, un pH muy ácido o muy alcalino está relacionado a la presencia de desechos industriales.

C) Aceites y Grasas (A y G)

Los aceites y grasas se definen como "cualquier material recuperado en la forma de una sustancia soluble en el solvente".

El aceite o petróleo en las salmueras es perjudicial para la vida acuática porque forma películas sobre la superficie del agua, reduce la aeración y disminuye la penetración de la luz solar necesaria para la fotosíntesis (producción primaria) de las plantas acuáticas. El aceite o petróleo en el agua de mar también puede formar "bolitas de alquitrán" en las playas y riberas de los ríos que pueden afectar plantas y animales. Otro problema que puede causar el petróleo es la eclosión de los huevos de tortugas en los ríos de la selva amazónica. También, se ha observado problemas en el desarrollo de cangrejos carreteros, muy-muy y otros organismos que habitan en playas arenosas de la costa.

D) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno usado por las bacterias bajo condiciones aeróbicas en la oxidación de materia orgánica para obtener CO_2 y H_2O . Esta prueba proporciona una medida de la contaminación orgánica del agua, especialmente de la materia orgánica biodegradable.

E) Sólidos Totales Disueltos (STD)

Los Sólidos Totales Disueltos (STD) constituyen una medida de la parte de sólidos en una muestra de agua que pasa a través de un poro nominal de 2,0µm (o menos) en condiciones específicas.

F) Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno es una sustancia indispensable para la supervivencia de los animales y de otros muchos seres vivos tanto acuáticos como terrestres. Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Los desperdicios orgánicos arrojados en los cuerpos de agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno en la respiración. De esta forma cuanto mayor sea la carga de materia orgánica, mayor será el número de microorganismos que descomponen y, consecuentemente, mayor el consumo de oxígeno. La temperatura, el material orgánico disuelto, los oxidantes inorgánicos, etc. afectan sus niveles.

G) Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad de una muestra de agua es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir corriente eléctrica.

Este parámetro tiene relación con la existencia de iones disueltos en el agua, los cuales son partículas con cargas eléctricas. Cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica en el agua. En las aguas continentales, los iones que son directamente responsables de los valores de la conductividad, son entre otros, el Calcio, el Magnesio, el Potasio, el Sodio, los carbonatos, los sulfatos y los cloratos. En el caso de salmueras de campos petroleros y efluentes de refinería, es simplemente un indicador de la salinidad del agua.

H) Cianuro Libre

El cianuro es una sustancia química, potencialmente letal, que actúa rápidamente y puede existir de varias formas.

El cianuro puede ser un gas incoloro como el cianuro de hidrógeno (HCN), o el cloruro de cianógeno (ClCN), o estar en forma de cristales como el cianuro de sodio (NaCN) o el cianuro de potasio (KCN).

El cianuro está presente en forma natural en algunos alimentos y en ciertas plantas como el "cazabe". Esta sustancia se encuentra en el humo del cigarrillo y en los productos de combustión de los materiales sintéticos como los plásticos.

En el sector industrial, el cianuro se utiliza para producir papel, textiles y plásticos. Está presente en las sustancias químicas que se utilizan para revelar fotografías. Las sales de cianuro son utilizadas en la metalurgia para galvanización, limpieza de metales y la recuperación del oro del resto de material removido.

I) Sólidos Totales Suspendidos (STS)

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105 °C.

Los sólidos suspendidos, como parámetro, miden la presencia de materiales corpusculares de tamaño mayor que unos 10^{-3} milímetros. Si fuesen menores se clasificarían como materiales coloidales (10^{-6} a 10^{-3} mm) o, definitivamente, como especies disueltas (menores que 10^{-6} mm). Además, los sólidos mayores que unos 10^{-2} mm se definirían como sólidos sedimentables, pues su tamaño es tal que caen por sí mismos al dejarlos en agua quieta. Los sólidos suspendidos, en cambio y tal como su nombre lo indica, permanecen en suspensión y sólo pueden ser retirados por una barrera física como, por ejemplo, un filtro.

J) Nitritos (NO_2^-)

En los nitratos está presente el anión nitrito (NO_2^-). Éste se forma al unirse el nitrógeno en estado de oxidación con dos oxígenos.

Los nitritos resultan ser tóxicos para los peces. Una concentración de 0,2 - 0,4 mg/l mata al 70 % de una población de truchas. Se nota una mortandad elevada de peces a partir de 0,15 mg/l.

En la naturaleza, los nitritos se forman por oxidación biológica de las aminas y del amoníaco, o por reducción del nitrato en condiciones anaeróbicas.

K) Nitratos (NO_3^-)

En los nitratos está presente el anión nitrato (NO_3^-). Éste se forma al unirse el nitrógeno en estado de oxidación con tres oxígenos.

Los nitratos (que derivan en nitritos en condiciones reductoras) originan un problema poco común de contaminación, además de estimular la eutrofización.

Los nitratos inorgánicos se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, etc. En esta descomposición, se forma amoníaco o amonio, respectivamente.

El agua que contiene altas concentraciones de nitratos y que se emplea en alimentación de niños de seis meses puede ser causa de una condición llamada metahemoglobinemia.

L) Fosfatos (PO_4^{3-})

Los fosfatos son la principal forma en la que el fósforo se presenta en las aguas naturales. Estos se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, florece el crecimiento de las plantas.

Los fosfatos también estimulan el crecimiento de las algas lo que puede ocasionar un crecimiento rápido de las algas. Los crecimientos rápidos de algas se pueden reconocer con facilidad como capas de limo verde y pueden eventualmente cubrir la superficie del agua. Al crecer las plantas y las algas, ahogan a otros organismos.

M) Cloruros (-Cl)

Los cloruros (Cl_-) son los principales aniones inorgánicos en el agua. Estos compuestos resultan de la combinación del cloro con una sustancia simple o compuesta (excepto hidrógeno u oxígeno). Los cloruros son altamente solubles, por lo que contaminan fácilmente el agua.

A diferencia de los indicadores más generales de la salinidad (la conductividad y los STS), la concentración de cloruros es una medida específica de la salinidad de las descargas de la industria petrolera.

Los cloruros son los principales componentes de las salmueras de petróleo. El incremento de cloruro en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad del agua.

N) Sulfatos (SO_4)

El ión sulfato es uno de los principales aniones que se encuentran en aguas naturales. Los sulfatos llegan al medio acuático por los desechos provenientes de múltiples industrias. El dióxido de azufre atmosférico, que se libera por la combustión de hidrocarburos, también puede contribuir al contenido de sulfatos del agua. El trióxido de azufre, producido por la oxidación fotolítica o catalítica del dióxido, se combina con el vapor de agua y precipita como lluvia ácida. La concentración de sulfatos en la mayor parte de las aguas dulces es muy baja. Las dosis de sulfato de 1.0 a 2.0 gramos tienen efecto catártico en las personas, dando como resultado la purga del canal alimentario.

O) Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida del equivalente en oxígeno del contenido de materia orgánica en una muestra que es oxidable utilizando un oxidante fuerte. Es diferente a la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pues la DBO mide sólo la fracción orgánica oxidable biológicamente. Es importante obtener una medida de la DQO en aguas residuales de refinería pues estos residuos, con frecuencia, contienen contaminantes orgánicos no biodegradables.

P) Nitrógeno Amoniacal (NH_3)

El Nitrógeno es uno de los elementos más importantes para la vida, pero es muy escaso en el agua. Sus fuentes principales son el aire (asimilado por algunas algas), adobos y materia orgánica en descomposición (hojas y aguas fecales). El nitrógeno que proviene de la descomposición de vegetales, animales y excrementos pasa por una serie de transformaciones. En el caso de los vegetales y animales, el nitrógeno se encuentra en forma orgánica. Al llegar al agua, es rápidamente transformado en nitrógeno amoniacal, pasando después a nitritos y finalmente a nitratos.

Esas dos últimas transformaciones solamente ocurren en aguas que contengan bastante oxígeno disuelto, pues son efectuadas por bacterias de naturaleza aerobia. De esa forma, cuando encontramos mucho nitrógeno amoniacal en el agua, estamos en presencia de materiales orgánicos en descomposición y por lo tanto en un medio pobre de oxígeno.

Q) Sulfuros (SO_3)

La medición del sulfuro total en el agua incluye H_2S y HS^- disueltos, así como sulfuros metálicos solubles en ácido que pueden estar presentes en la materia suspendida. Con frecuencia, los sulfuros están presentes en las aguas

residuales de las refinerías. Pueden ser tóxicos para los peces y generar olores desagradables.

R) Fenoles (C_6H_5-OH)

La medición de Fenoles suministra una indicación de la concentración de la mayoría de compuestos fenólicos (hidróxidos derivados de bencenos y sus núcleos condensados). Los fenoles frecuentemente están presentes en altas concentraciones en las aguas residuales de la industria petrolera. En niveles altos, pueden manchar la piel de peces y afectar negativamente la flora, la fauna y seres humanos. En niveles, relativamente bajos, estimulan la producción de olores fuertes y desagradables cuando se presentan en combinación con altas concentraciones de cloruros.

S) Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)

El término TPH describe una extensa familia de varios cientos de compuestos químicos que proceden originalmente del petróleo crudo, que es la materia prima fundamental de toda la industria petroquímica y pueden contaminar el ambiente.

Debido a la gran variedad de compuestos que constituyen el petróleo crudo, no resulta práctico medir cada uno de ellos separadamente. Sin embargo, es útil medir la cantidad total de hidrocarburos de petróleo en un sitio dado.

El TPH es una mezcla de sustancias hidrocarbonadas que pueden fraccionarse para investigar posteriormente los alifáticos, aromáticos y fracciones más pesadas.

Algunas de las sustancias que pueden encontrarse en los TPH son hexano, combustible de avión, benceno, tolueno, xilenos, componentes de las gasolinas y aceites minerales.

T) Metales Totales (Metales Totales x ICP)

Este parámetro incluye un conjunto de 34 metales tanto cationes, aniones y metales pesados, a continuación describiremos algunos:

- Los Metales Pesados (Bario, Cadmio, Cromo, Plomo y Mercurio), frecuentemente son contaminantes del petróleo crudo y algunas veces están presentes en pequeñas cantidades en las aguas residuales de la industria petrolera.
- El Bario, tiene efectos irreversibles para la salud y es tóxico para los animales. Se puede combinar con sulfatos para formar sulfato de bario insoluble.
- El Cadmio, se acumula en tejidos blandos y puede interferir en el metabolismo. Es conocido que en sistemas acuáticos, el Cadmio se acumula fácilmente en las ostras.
- El Cromo, se absorbe tanto a través del tracto digestivo como del respiratorio y la cantidad absorbida depende de su forma. El cromo trivalente es esencial para el organismo, no es tóxico y no se conocen efectos locales o sistémicos del mismo. Sin embargo, en su forma tetravalente es cancerígeno para el sistema respiratorio y venenoso para los peces.
- El Plomo, se acumula en el tejido de ostras y mariscos. Llega al ser humano a través de la cadena alimenticia y se acumula en los huesos. El plomo es un inhibidor de las enzimas e influye en el metabolismo celular.
- El Níquel, es un metal constituyente frecuente en las aguas de formación y especialmente de las masas de hidrocarburos (y compuestos precursores como el Kerógeno) contenidos en las formaciones productoras.
- El Zinc, al igual que los otros metales, puede estar presente en los fluidos provenientes de las formaciones exploradas. Este metal también se estudia principalmente debido a que es posible su presencia en los líquidos de lixiviación de los lodos utilizados en las perforaciones exploratorias (fluidos de inyección), que son almacenados en las cercanías de las locaciones empleadas.

- El estudio de caracterización del contenido de los cationes principales (Na, K, Ca, Mg), dentro de los cuerpos de agua principales, se realiza especialmente con la finalidad de evaluar las condiciones actuales para estos parámetros, el cual permite, de esta forma, el control futuro durante la etapa de monitoreo prevista.

U) Mercurio (Hg)

El mercurio es un elemento metálico que permanece en estado líquido a temperatura ambiente. El mercurio es altamente tóxico a niveles relativamente bajos y se acumula en los peces.

Produce "clorosis" en las plantas, es venenoso para los animales y llega al ser humano a través de la cadena alimenticia.

V) Coliformes Totales

Los coliformes son bacterias, principalmente, asociadas con los desechos humanos y animales. Los coliformes totales proporcionan una medida de la contaminación del agua proveniente de la contaminación fecal.

2.5.2 SELECCIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

El monitoreo de las aguas receptoras, requiere una cuidadosa evaluación sobre dónde recolectar las muestras. Las siguientes secciones describen las ubicaciones ideales para la recolección de muestras y presentan recomendaciones basadas en la posibilidad de ciertas limitaciones logísticas.

A) Puntos de Muestreo para Descargas

El lugar ideal para el muestreo sería el punto exactamente antes de que la descarga ingrese a un curso de agua receptor (es decir, una corriente natural o

un río). Sin embargo, es posible que este punto no sea de acceso fácil ni seguro. En este caso, la muestra debe ser recolectada en el primer punto accesible corriente arriba de la descarga del conducto o canal.

B) Puntos de Muestreo para Aguas Receptoras

Las aguas superficiales receptoras en los lugares de uso hidro-energético incluyen a todos los cursos de agua que pueden ser afectados por las operaciones. Generalmente, se trata de arroyos, ríos, pantanos, lagos y aguas subterráneas en el área. Como mínimo, debe ubicarse una estación de muestreo aguas arriba y otras aguas abajo de cada cuerpo de agua receptor.

Estos puntos permitirán a la industria determinar:

- Las condiciones de referencia aguas arriba de las actividades de explotación hidro-energética.
- Si las actividades de explotación hidro-energética están contribuyendo a la contaminación de las aguas receptoras.
- En qué nivel están afectando los contaminantes a las aguas receptoras.

La muestra aguas arriba debe estar ubicada lo suficientemente lejos para asegurarse de que no exista influencia de la descarga, pero aguas abajo de cualquier corriente tributaria que pudiera influir en las características de calidad del agua en el punto de descarga.

Para determinar el punto más adecuado para la estación aguas abajo, se recomienda recolectar inicialmente varias muestras en puntos aguas abajo de la descarga y realizar un análisis de la zona de mezcla de la descarga y el agua receptora. La ubicación de la estación aguas abajo debe estar en el punto en el que la descarga se haya mezclado completamente con el agua receptora.

Las características de calidad del agua de la zona de mezcla pueden ser ecológicamente importantes para los ríos grandes. En estos casos, puede ser

aconsejable tomar más de una muestra aguas abajo de la descarga. De igual manera, en el caso de corrientes receptoras pequeñas, puede ser importante tomar muestras también del río en el que desemboca la corriente. En la selva amazónica húmeda algunas de las corrientes receptoras más pequeñas actualmente no son muestreadas; y sólo los ríos mayores en los que éstas desembocan son seleccionados para el monitoreo.

El Decreto Supremo No. 046-93-EM exige que el sitio de monitoreo en la corriente receptora sea 500 metros corriente arriba y corriente abajo del punto de descarga para los ríos. Sin embargo, esta distancia puede variar dependiendo de los lugares seleccionados, las condiciones locales y los criterios técnicos indicados anteriormente.

Todos los puntos de muestreo deben estar marcados con precisión en mapas, de manera que se pueda retornar a ellos con facilidad. Debe fotografiarse el lugar y tomar nota de alguna característica geográfica permanente. De ser posible, debe colocarse un hito en la orilla.

Ubicación con GPS

La ubicación de la zona de muestreo se realiza con un equipo posicionador: Global Position System: GPS (Sistema de Posicionamiento Global) que consiste en una red de satélites que constantemente están transmitiendo información codificada permitiendo identificar de forma precisa la ubicación de cualquier lugar en la tierra mediante la medición de distancias entre los satélites y el GPS.

Este sistema GPS es operado por el gobierno de los Estados Unidos que es el único responsable de su precisión y mantenimiento.



Figura 2.8 Equipo GPS

Uso del Global Position System – GPS

1. Encender el equipo: pulsar tecla POWER y mantenerla pulsada durante unos segundos hasta que se conecte la unidad.

2. Elegir Sistema de Coordenadas (UTM) y Sistema de Referencia del Plano Topográfico ó Datum (WGS 84):

- Pulsar MENU dos veces y con ayuda de las flechas elegir opción CONFIGURAR y pulsar ENTER.
- Seleccionar opción UNIDADES y pulsar ENTER.
- Seleccionar FORMATO DE POSICIÓN y ENTER.
- Buscar con ayuda de las flechas, el formato de posición que requerimos (UTM) y ENTER.
- Seleccionar DATOS DE MAPA y ENTER.
- Buscar con ayuda de las flechas, el dato de mapa que requerimos (WGS 84) y ENTER.

3. Esperar que se llene el almanaque y que reconozca por lo menos 4 satélites (al menos 4 barras se muestran sólidas).

4. Marcar la posición del lugar de muestreo: pulsar tecla MARK y ENTER para confirmar la posición.

5. Leer la posición X e Y:

- Pulsar FIND, seleccionar WAYPOINTS y ENTER
- Seleccionar el último punto y ENTER

6. Leer la Zona UTM en la que nos ubicamos.

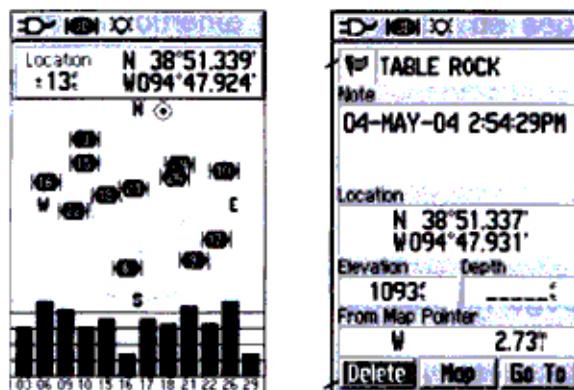


Figura 2.9 Lectura de un equipo GPS

2.5.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

A) Registro de datos de campo

1. Registro de Dato Generales:

- Código del punto de muestreo.
- Origen de la fuente.
- Descripción clara y definida del punto de muestreo.
- Hora y fecha de muestreo.
- Localidad, distrito, provincia y departamento.
- Coordenadas de ubicación del punto de muestreo.

- Datos personales de quien realizó la toma de muestra.
- Condiciones climáticas.

2. Registro de todas las mediciones realizadas en el monitoreo.

B) Requisitos para la Toma de Muestras

- Evitar las áreas de turbulencia excesiva, considerando la profundidad, la velocidad de la corriente y la distancia de separación entre ambas orillas (En ríos).
- Se realizará en el centro de la corriente a una profundidad de acuerdo al parámetro a determinar.
- Evitar la presencia de espuma superficial, en lagos y pantanos.
- Se realizará en dirección opuesta al flujo del recurso hídrico.
- Considerar un espacio de alrededor del 1% aproximadamente de la capacidad del envase (espacio de cabeza) para permitir la expansión de la muestra.

Preservación de las muestras

Una vez tomada la muestra de agua, se procede a adicionarle el preservante requerido de acuerdo a lo estipulado en los "Requisitos para toma de muestras de agua y manipulación" (tabla 2.3).



Figura 2.10 Preservación de las muestras

Requisitos para toma de muestras de aguas y su manipulación

Tabla 2.3: Requisitos para muestras de agua

Parámetro	Material del frasco	Volumen requerido	Conservación o preservación	Tiempo máximo para análisis
pH	determinación en campo			
Temperatura	determinación en campo			
Turbiedad	P o V	200 mL	refrigerar a 4°C	24 horas
Alcalinidad	P o V	200 mL	refrigerar a 4°C	24 horas
Color	P o V	500 mL	refrigerar a 4°C	48 horas
Sólidos sedimentables	P o V	1000 mL	refrigerar a 4°C	48 horas
	P o V	1000 mL	refrigerar a 4°C	7 días
Cloruros	P o V	200 mL	refrigerar a 4°C	28 días
Fluoruros	P o V	300 mL	refrigerar a 4°C	28 días
Sulfatos	P o V	100 mL	refrigerar a 4°C	28 días
Conductividad	P o V	200 mL	refrigerar a 4°C	28 días
Dureza	P o V	500 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH <2	3 meses
Oxígeno disuelto	determinación en campo			
DBO	P o V	1000 mL	refrigerar a 4°C	24 horas
Fosfato	V	200 mL	refrigerar a 4°C	18 horas
Cianuros	P o V	1000 mL	Agregar NaOH hasta pH = 12 refrigerar a 4°C	14 días 24 h / sulfuros
Nitritos	P o V	200 mL	refrigerar a 4°C	48 h
Nitratos	P o V	200 mL	refrigerar a 4°C	48 horas 28 /clorada
Aceites y grasas	V ámbar boca ancha	1000 mL	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH <2 refrigerar 4°C	28 días
DQO	P o V	200 mL	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH <2 refrigerar 4°C	28 días
Metales				
En general	P o V	1000 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH <2	2 meses
Arsénico	P o V	500 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH <2 refrigerar 4°C	2 meses
Mercurio	P o V	500 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH <2 refrigerar 4°C	28 días
Hidrocarburos	V	1000 mL	Agregar CHI hasta pH <2 refrigerar 4°C	28 días

Identificación de las muestras de agua

Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, se deberá colocar después de la toma de muestra una etiqueta en cada recipiente, en la que se anotará claramente con tinta a prueba de agua la información siguiente:

- Número de muestra (referido al orden de toma de muestra).
- Código de identificación (punto y/o estación de muestreo).
- Origen de la fuente.
- Descripción del punto de muestreo.
- Fecha y hora de la toma de la muestra.
- Preservación realizada, tipo de preservante utilizado.
- Tipo de análisis requerido.
- Datos personales responsable del muestreo.

Conservación durante el envío de muestras de agua

- Las muestras recolectadas deberán conservarse en cajas térmicas (coolers) a temperatura indicada en los “**Requisitos para toma de muestras de agua y manipulación**”, disponiendo para ello con preservantes de temperatura (Ice pack, hielo seco, otros).
- Los recipientes de vidrio deben ser embalados con cuidado para evitar roturas y derrames. En el caso de utilizar hielo, colocar este en bolsas herméticas para evitar fugas de la caja donde se transportan las muestras de agua.



Figura 2.11 Conservación de las muestras

Conservación durante el envío de muestras de agua

Las muestras recolectadas deberán entregarse al laboratorio en el menor tiempo posible, preferentemente dentro de las 24 horas de realizado el muestreo. Para su ingreso al laboratorio de análisis, las muestras deberán ir acompañadas de:

- Ficha de Muestreo.
- Oficio de la Institución solicitante del análisis.
- Ficha de Cadena de Custodia

Garantía de Calidad

- La Garantía de Calidad (GC) consiste en un conjunto de principios operativos que se deben seguir durante la recolección y el análisis de muestras con el objetivo de producir datos de calidad conocida y sustentable.
- La garantía de calidad es un programa integral que incluye funciones y procedimientos de control de calidad. Un buen programa de control de calidad en un laboratorio consiste de por lo menos siete elementos (APHA,1992) :
 - ✓ Certificación del rendimiento del operador.
 - ✓ Recuperación de adiciones conocidas.
 - ✓ Análisis de normas suministradas externamente.
 - ✓ Análisis de blancos reactivos.
 - ✓ Calibración con los estándares.
 - ✓ Análisis de duplicados.
 - ✓ Mantenimiento de gráficos de control.

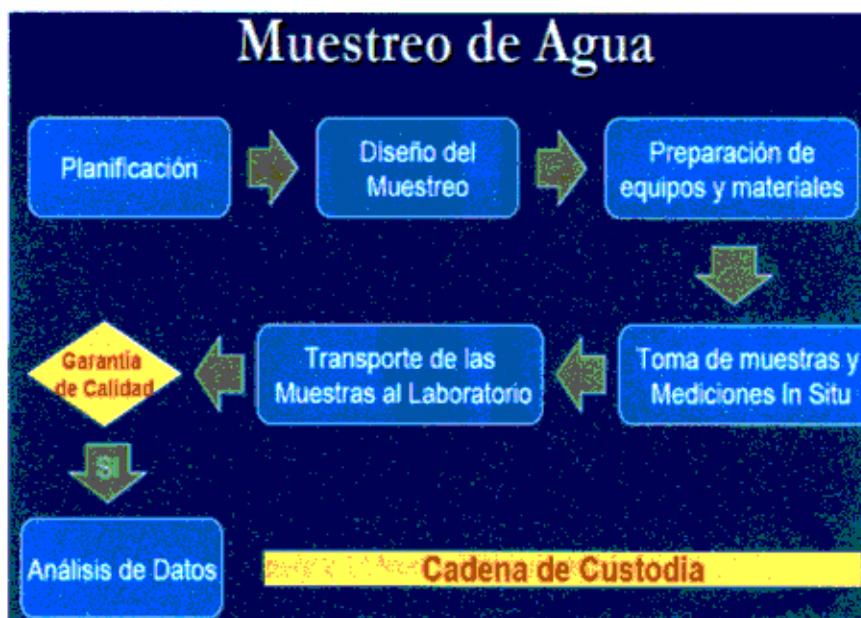


Figura 2.12 Muestreo del agua

2.5.4 MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS

Mediciones in Situ

Son mediciones de algunas propiedades fisicoquímicas que se miden en el lugar de muestreo. Las propiedades consideradas son la temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbiedad y OD; estas propiedades varían cuando son extraídos del lugar de muestreo debido a los cambios de condiciones a las que son sometidas para su transporte hasta el laboratorio. En este sentido se hacen imprescindibles medirlas "in situ".

A) Temperatura

Materiales y aparatos

- Vasos de precipitados: de 250 mL o de 100 mL
- Termómetro.
- Agua destilada.



Figura 2.13 Medidor de temperatura

Metodología experimental

Calibración

- Compare con el termómetro referencial calibrado por el INDECOPI, el cual se encuentra guardado en condiciones que no son alteradas (25°C).
- Una vez calibrado, lavar el termómetro con agua destilada y secarlo.

Preparación del Termómetro para la medición

- Colocar en el vaso la muestra y sumerja el termómetro.
- Agitar la muestra con el termómetro homogenizado.
- Leer la temperatura de la muestra directamente en la escala.
- Lavar el termómetro con agua destilada después de cada medición, secar con papel.
- Colocar el termómetro en la cápsula de protección después de terminada la medición.
- Anotar las mediciones por triplicado.

B) Potencial de Hidrógeno (pH)

Reactivos

- Soluciones buffer de pH 4.0, 7.0 y 10.0. (Se deben renovar cada 15 días).
- Solución control pH 10 etiquetado adecuadamente
- Agua destilada.

Materiales y equipo

- Vasos de precipitados: de 250 mL o de 100 mL
- Papel tissue
- Potenciómetro ó pH-metro de modelo portátil, para pruebas de campo y lectura directa.

Metodología experimental

Calibración

- Retire del refrigerador las soluciones buffer y dejar descongelar hasta temperatura ambiente (25°C).
- Encender el equipo y calibrar el medidor de pH con dos soluciones patrón (pH 7 y pH 4) antes de realizar la medición dependiendo en que rango se quiere trabajar.
- Una vez calibrado, lavar el electrodo y dejarlo en el vaso de precipitados con agua destilada.

Preparación del pH-metro para la medición

- Coloque en el vaso la muestra y sumerja el electrodo de referencia hasta que las áreas sensoras estén sumergidas completamente.
- Encienda el medidor de pH.

- Agitar la muestra con el sensor homogenizando.
- Lea el pH de la muestra directamente en la escala.
- Lave los electrodos con agua destilada después de cada medición, secar con papel tissue.
- Anotar los resultados por triplicado.

C) Oxígeno Disueltos (OD)

Reactivos

- Agua destilada

Equipos y materiales

- Potenciómetro de membrana selectiva para oxígeno modelo portátil, para pruebas de campo, de lectura directa.
- Vasos de precipitados: de 250 mL o de 100 mL



Figura 2.14 Medidor de Oxígeno Disuelto

Metodología experimental

Calibración

- Coloque el electrodo dentro del protector el cual contiene una esponja que siempre debe permanecer humedecida con agua destilada.
- Asegurar el protector enroscando la tapa.
- Encender el equipo y presionar la tecla de CAL (calibración).
- Esperar que la señal de calibración que aparece en la pantalla del equipo deje de parpadear.
- Verificar que el valor del SLOPE se encuentre dentro del rango de calibración óptima, indicado en el manual.
- Presione la tecla M (mode) y volver al modo de medición.

Preparación del oxímetro para la medición

- Coloque en el vaso la muestra y sumerja el electrodo de medida de oxígeno hasta que las áreas sensoras estén sumergidas completamente.
- Encienda el medidor de OD.
- Agitar la muestra con el sensor homogeneizando.
- Lea el OD de la muestra directamente en la escala.
- Verificar la calibración del electrodo, midiendo el % de saturación de oxígeno en una muestra de agua destilada a 20°C saturada con oxígeno comparando la lectura con la referenciada en la tabla proporcionada por el fabricante.

- Lave los electrodos con agua destilada después de cada medición, secar con papel tissue.
- Coloque el protector en el electrodo después de terminada la medición.
- Anotar los resultados por triplicado. Se expresarán los resultados en mg/L de oxígeno disuelto.

D) Conductividad Eléctrica

Reactivos

- Alcohol etílico del 95 % (Para el lavado de los electrodos)
- Agua destilada ultra pura, especificación ASTM D1193 Tipo I
- Cloruro de Potasio KCl: de 100 % +/- 0.1 de pureza. Secarlo a 150°C durante 2 horas, guardarlo en un desecador.
- Solución estándar (1) de KCl: Disolver 0.7440 g de KCl en agua destilada ASTM tipo I y diluir a 1 litro. Esta solución tiene una conductividad de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C.

Materiales y aparato

- Conductímetro portátil de campo
- Vaso de 250 ml
- Papel tissue
- Pisceta con agua destilada



Figura 2.15: Medidor de Conductividad Eléctrica

Metodología experimental

Calibración

Para verificar el estado general del conductímetro, se deben hacer mediciones de la conductividad de las soluciones estándar del valor especificado, el equipo nos dará la lectura de manera directa.

Preparación del conductímetro para la medición:

- Lave los electrodos con agua destilada y secar con papel tissue.
- Sumergir los electrodos en la muestra de agua hasta que las áreas sensoras estén sumergidas completamente.
- Encienda el conductímetro.
- Espere que la lectura sea estable.
- Lea la conductividad eléctrica de la muestra directamente en la escala.

E) Turbiedad

La turbiedad es una propiedad óptica de la muestra. La turbidez, hace que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas dispersadas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con tamaños desde el coloidal hasta partículas sedimentables. La agitación tiene influencia en la turbidez.

Reactivos

- Agua destilada libre de turbidez, preparada filtrando el agua a través de una membrana de 0.2 m
- Solución patrón de turbidez de 4000 NTU.

Equipo y Materiales

- Turbidímetro HAC Portable Water Analysis Instrumentation Model 16800. (modelo portátil, para pruebas de campo, de lectura directa).
- Celdas de vidrio para la lectura de las muestras, vienen con los equipos y antes de ser usados deben remojarse en HNO_3 1:1 para no alterar la lectura.
- Vasos de precipitados: de 250 mL o de 100 mL



Figura 2.16 Medidor de turbiedad

Metodología Experimental

Calibración

Lavar las celdas con ácido clorhídrico diluido HCl (1/10) para eliminar errores de medición.

Se calibra el equipo con las soluciones 10, 100 y 200 NTU a partir de la solución 4000 NTU de Formazina (estándar de turbidez) coloque las soluciones en las celdas de lectura y llevar al equipo. Este nos dará el valor de la turbidez en NTU establecido.

Preparación del Turbidímetro para la medición:

- Agitar la muestra y llenar la celda.
- Encender el turbidímetro y presionar la tecla READ.

- Esperar 20 segundos hasta que el equipo nos de el resultado obtenido.
- Verificar la confiabilidad de las lecturas con las soluciones patrón diariamente.

F) Sólidos Sedimentables

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se depositan en el fondo de un vaso cónico, llamado cono Imhoff, tras 30 minutos de sedimentación.

La determinación de los sólidos sedimentables interesa fundamentalmente a efectos del tratamiento de aguas, a fin de conocer el volumen y la densidad del fango que se obtendrá en los decantadores.

La muestra necesaria para la realización de estos análisis debe excluir elemento superior a 5 mm, para ello si es necesario deberá tamizarse por una malla de dicho calibre.

Materiales y equipo

- Cono Imhoff de 1 litro
- 1 L de muestra
- Pie universal con anillo

Metodología experimental

- Agitar la muestra de agua asegurando una distribución pareja de los sólidos a través de todo el cuerpo del líquido.
- Verter en el cono Imhoff hasta el aforo tomando como $t = 0$.
- Dejar decantar por 30 min.

Toma de muestra, preservación y almacenamiento para el análisis de parámetros en laboratorio

Las muestras de agua colocadas en las diferentes botellas correctamente etiquetadas, serán preservadas a la brevedad posible con el/los reactivo/s según sea cada caso específico.

A) Aceites y grasas

Procedimiento

- Para la toma de la muestra utilizar frascos de vidrio de boca ancha de 1 L, con tapa esmerilada, que han sido previamente lavadas con detergente, enjuagado con agua y solvente para eliminación de residuos. Opcionalmente se pueden utilizar botellas de vidrio con tapa de polietileno recubiertas con papel de aluminio.
- Para cada repetición del análisis se debe tomar una nueva muestra.
- Si el análisis se realiza después de 2 horas, se debe adicionar 1 mL de ácido clorhídrico concentrado (HCl).
- Almacenar en un lugar refrigerado.

B) Sólidos Totales en Suspensión

Procedimiento

- Partículas como escama, materia fecal, deben ser excluidos de la muestra porque incrementaron el resultado final.
- Utilizar frasco de polietileno, limpios.
- Al tomar la muestra llenar la botella hasta el hombro y taponar.
- Mantener la muestra en un contenedor a 4° C.

- Llevar la muestra correctamente etiquetada al laboratorio designado. Las muestras se mantendrán refrigeradas hasta su análisis un tiempo de 7 días después de su colecta.

C) Metales Totales

- Utilizar frascos de polietileno de 1 L, para la toma de la muestra.
- Preservar las muestras inmediatamente después de la toma de muestra, utilizando 1 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃), esto impide la precipitación de los metales.
- Almacenar las muestras en un recipiente refrigerado a 4 °C para prevenir cambio en el volumen por evaporación.

D) Metales Disueltos

Son los metales que se encuentran disueltos en agua filtrada con membranas de 0.45 m.

- Utilizar frascos de polietileno de 1 L, para la toma de la muestra.
- Filtrar la muestra utilizando membranas de 0.45 m
- Preservar el filtrado, utilizando 1mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃), esto impide la precipitación de los metales.
- Almacenar las muestras en un recipiente refrigerado a 4°C para prevenir cambio en el volumen por evaporación.

E) Iones disueltos: Cianuros

- Utilizar frascos de vidrio ámbar de 1 L, para la toma de la muestra
- Analizar la muestra lo más rápido posible.
- En caso de almacenamiento, adicionar 2 pelets de NaOH sólido o solución concentrada de NaOH (50%), esto forma sales no volátiles.
- Adicionar 0.1 g de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) por litro de muestra, para eliminar el cloro en aguas desinfectadas.
- Almacenar en un lugar cerrado y en un lugar frío.

Muestreo de parámetros biológicos

A) Coliformes totales

Este grupo coliforme incluye todos los bacilos gram-negativos, no esporulados, anaerobios facultativos, oxidasa negativa, capaces de crecer en presencia de sales biliares u otros compuestos activos, fermentan la lactosa a temperatura de 35 °C ó 37 °C, con producción de ácido, gas y aldehído entre 24 y 48 horas.

Si se considera este grupo en relación con la familia Enterobacteriaceae se verá que incluye los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*.

Para evaluar las condiciones sanitarias del agua se utilizan bacterias del grupo Coliforme, que actúan como indicadoras de contaminación fecal, y se encuentran en gran número en la flora intestinal del hombre y de animales de sangre caliente (mamíferos: vacunos, perros, gatos).

Procedimiento:

- Las muestras deben de ser debidamente identificadas (número de muestra, día y hora de muestreo y lugar).
- Para la toma de muestras bacteriológicas se debe de usar frascos estériles con capacidad mínima de 125 ml.

El método de colección se determina por el objetivo del estudio. Para la colecta de aguas residuales los frascos deben contener 0.3 ml de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) al 15% por cada 100 ml de muestra. Se debe de colocar una protección de aluminio o papel Kraft, cubriendo la tapa del frasco, antes de la esterilización.

- Para coleccionar la muestra se sumerge rápidamente el frasco debajo de la superficie del agua unos 15 ó 20 cm. Para de esta manera evitar recolectar material flotante y se dirige la boca de la botella en sentido contrario al de la corriente para prevenir el contacto del agua con las manos. Dejar en el frasco un espacio de 1/3 de aire para conseguir luego una buena homogenización.
- El tiempo de transporte no debe de exceder las seis horas, cuando se trata de aguas muy contaminadas, como en el caso de las aguas residuales. Debido a la gran influencia que la temperatura ejerce en la población bacteriana, es importante que se mantengan refrigeradas a 4 °C, manteniéndose la muestra refrigerada aún después de su llegada al laboratorio y comenzar el análisis de inmediato o máximo a las dos horas siguientes a su llegada.

B) Coliformes termotolerantes (fecales)

Las bacterias coliformes fecales forman parte del total del grupo coliforme. Están son definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44,5 °C +/- 0,2 dentro de las 24 +/- 2 horas. Usualmente son detectados por uso de un indicador de pH

en el medio. La mayor especie en el grupo de coliformes fecales es *Escherichia coli*.

En la determinación del grupo coliforme se realiza una diferenciación entre los coliformes de origen fecal y no fecal. El grupo de bacterias coliformes normalmente encontrados en las heces de animales homeotermos (mamíferos, aves), por lo tanto indican contaminación fecal. Cuando deseamos conocer la calidad de agua contaminada por descargas domésticas se emplea el grupo coliforme fecal como indicador debido a que estas bacterias generalmente no se multiplican fuera del intestino.

Procedimiento

- Es el mismo que para los coliformes totales. En el caso de agua potable se sugiere muestrear por lo menos 200 ml.

Equipos e Instrumentos del monitoreo



Figura 2.17 Analizador de líquidos multi-parámetros

2.5.5 NORMATIVIDAD REFERENCIAL DE LOS PRINCIPALES PATRONES DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS

Tabla 2.4 Estándares de calidad del agua, categoría 1: poblacional y recreacional

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto primario	Contacto secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1	1	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0.005	0.022	0.022	0.022	0.022
Cianuro Wad	mg/L	0.085	0.08	0.08	0.08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Conductividad	US/cm(a)	1500	1800	**	**	**
D.B.O.	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.5	0.5	Na	0.5	Ausencia de material flotante
Fenoles	mg/L	0.003	0.01	0.1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/LP	0.1	0.15	0.15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitritos	mg/LN	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/LN	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/LN	1.5	2	3.7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 6	>=5	>=4	>=5	>=4
pH	Unidad de pH	6.5-8.5	5.5-9.0	5.5-9.0	6-9 (2.5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0.05	**	**	0.05	**
Turbiedad	UNT(b)	5	100	**	100	**

Fuente: DIGESA

Tabla 2.5 Estándares de calidad del agua, categoría 2: actividades marino costeras

PARAMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
ORGANOLEPTICOS				
Hidrocarburos de Petróleo		No Visible	No Visible	No Visible
FISICO QUIMICOS				
Aceites y grasas	mg/L	1	1	2
DBO5	mg/L	*	10	10
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4	>=3	>=2,5
pH	Unidad de pH	7-8,5	6,8-8,5	6,8-8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	**	50	70
Sulfuro de Hidrogeno	mg/L	**	0,05	0,08
Temperatura	Celsius	***delta 3°C	***delta 3° C	***delta 3° C
INORGANICOS				
Amoniaco	mg/L	**	0,08	0,21
Arsénico total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cadmio total	mg/L	0,0093	0,0093	0,0093
Cobre total	mg/L	0,0031	0,05	0,05
Cromo Vi	mg/L	0,05	0,05	0,05
Fosfatos (P-P04)	mg/L	**	0,03-0,09	0,1
Mercurio total	mg/L	0,00094	0,0001	0,0001
Niquel total	mg/L	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO3)	mg/L	**	0,07-0,28	0,3
Plomo total	mg/L	0,0081	0,0081	0,0081
Silicatos (Si-SiO3)	mg/L	**	0,14-0,70	**
Zinc total	mg/L	0,081	0,081	0,081
ORGANICOS				
Hidrocarburos de petróleo totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01
MICROBIOLOGICOS				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤ 14 (área aprobada)	≤ 30	1000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤ 88 (área restringida)		

Fuente: DIGESA

Tabla 2.6 Estándares de calidad del agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales

PARAMETRO PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(μ S/cm)	<2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos -P	mg/L	1
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	0.06
Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 4
pH	Unidad de pH	6.5-8.5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0.05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0.05
Bario total	mg/L	0.7
Boro	mg/L	0.5-6
Cadmio	mg/L	0.005
Cianuro Wad	mg/L	0.1
Cobalto	mg/L	0.05
Cobre	mg/L	0.2
Cromo (6+)	mg/L	0.1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2.5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0.2
Mercurio	mg/L	0.001
Niquel	mg/L	0.2
Plata	mg/L	0.05
Piomo	mg/L	0.05
Selenio	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0.001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	μ g/L	1
Aldrin (CAS 209-00-2)	μ g/L	0.004
Clordano (CAS 57-74-9)	μ g/L	0.3
DDT	μ g/L	0.001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	μ g/L	0.7
Endrin	μ g/L	0.004
Endosulfan	μ g/L	0.02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y Heptacloripóxido	μ g/L	0.1
Lindano	μ g/L	4
Paration	μ g/L	7.5

Fuente: DIGESA

Tabla 2.7 Estándares de calidad del agua, categoría 4: conservación del ambiente acuático

PARAMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RIOS		ECOSISTEMAS MARINOS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	COSTEROS	
					ESTUARIOS	MARINOS
FISICO Y QUIMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0.02	0.02	0.05	0.05	0.06
Temperatura	Celsius					Delta 3 ° C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	Unidad	6.5-8.5	6.5-8.5		6.8-8.5	8.8-8.5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤25	≤25-10	≤25-400	≤25-100	30
INORGANICOS						
Arsénico	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05
Bario	mg/L	0.7	0.7	1	1	---
Cadmio	mg/L	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005
Cianuro Libre	mg/L	0.022	0.022	0.022	0.022	---
Clorofila A	mg/L	10	---	---	---	---
Cobre	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Fenoles	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	
Fosfatos Total	mg/L	0.4	0.5	0.5	0.5	0.031-0.093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales		Ausente			Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.001	0.0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0.07-0.28
INOGENICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1.6	1.6		---	---
Niquel	mg/L	0.025	0.025	0.025	0.002	0.0082
Plomo	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.0061	0.0061
Silicatos	mg/L	---	---	---	---	0.14-0.7
Sulfuro de Hidrogeno 1 (H2S indisoluble)	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.06
Zinc	mg/L 0.03		0.03	0.3	0.03	0.061
MICROBIOLOGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1000	2000		1000	:30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2000	3000		2000	

Fuente: DIGESA

CAPÍTULO 3

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

3.1 INFORMACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

En la cuenca del río Molloco, se cuenta con dos centrales hidroeléctricas a la vez:

Tabla 3.1 Datos técnicos de las CHs de Molloco

	C.H. Molloco 1	C.H. Molloco 2
Potencia Instalada	200 MW	110 MW
Turbinas	4 turbinas Pelton, 50 MW c/u	2 turbinas Pelton, 55 MW c/u
Tubería forzada (subterráneo)	1757 m.	915 m.
Diámetro de la tubería	2.8 m.	2.8 m.
Caudal nominal	16.4 m ³ /s	16.4 m ³ /s

- C.H. Molloco I (4 grupos Pelton de 50 MW c/u), con la bocatoma en el embalse Japo, túnel de aducción a presión de 7630 m de longitud y 2.8 m de diámetro con 16.4 m³/s de capacidad de conducción, chimenea de equilibrio con cámara de expansión superior e inferior, cámara de válvulas en caverna, conducto forzado en subterráneo de 1757 m de longitud, casa de máquinas en caverna y subestación al exterior.

- C.H. Molloco II (2 grupos Pelton de 55 MW c/u), toma en Latica para $16.4 \text{ m}^3/\text{s}$, túnel de conducción en presión de 3630 m de longitud, 2.8 m de diámetro y $16.4 \text{ m}^3/\text{s}$ de capacidad, chimenea de equilibrio, cámara de válvulas, conducto forzado de 915 m de longitud al exterior y en subterráneo, casa de máquinas en subterráneo y subestación al exterior.

Los embalses están ubicados en los distritos de Choco, Chachas y Orcopampa, en la provincia de Castilla y Caylloma en la región Arequipa. Para la aplicación, se tomó los datos existentes de la Presa Japo.

3.2 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA EXISTENTE

Para el presente estudio se ha desarrollado en forma exhaustiva la hidrología de la cuenca del río Molloco y la cuenca alta del río Palca (derivación al río Molloco), entre los que se destacan la determinación de los caudales de los ríos Molloco y Palca. Sin embargo es preciso aclarar que la información hidrológica a nivel nacional es generalmente baja, o con periodos de registro muy cortos, lo cual obliga a utilizar modelos matemáticos para la extensión y generación de descargas o caudales en los puntos de interés.

Para la cuenca del río Molloco se ha utilizado las series históricas de los caudales mensuales del río Molloco. Asimismo, se ha determinado el rendimiento hídrico en la cuenca baja, generando caudales en las sub cuencas que componen la cuenca baja del río Molloco entre la Presa Japo hasta el río Colca. Para la generación de caudales en dichas sub cuencas fue necesario recurrir a la estación de caudales registrados en la Estación La Calera.

La geología en la zona de la Presa Japo se caracteriza por presentar depósitos fluviales, aluviales, fluvio glaciares y morrénicos constituidos por acumulaciones de gravas y bloques medianos sub angulosos a sub redondeados englobados en grava y matriz limo arcilloso. Las rocas presentes corresponden al Grupo Andahua constituido por andesitas y basaltos.

En el tabla 3.2 se presentan los caudales promedios mensuales del río Molloco en la Presa Japo; se presentan las descargas medias mensuales desde 1,984 hasta el 2,007; obteniéndose una descarga media anual de 12.85 m³/s.

Tabla 3.2 Caudales mensuales del río Molloco

AÑO	MESES												MEDIA ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1984	30.20	53.60	81.80	25.40	10.50	4.90	3.80	3.40	2.40	2.50	8.80	5.70	19.26
1985	3.90	24.30	52.50	24.80	10.90	5.00	3.90	3.70	3.10	2.40	3.10	4.90	11.81
1986	27.30	47.20	71.10	33.80	14.30	5.80	5.00	3.90	2.90	2.40	2.30	3.60	18.16
1987	32.40	21.20	14.30	7.40	2.90	2.50	1.80	1.40	0.99	2.20	2.20	4.40	7.78
1988	17.70	44.10	61.20	26.00	10.60	5.00	4.00	2.90	2.10	2.80	2.30	3.50	15.03
1989	23.50	46.80	46.60	13.53	5.20	3.50	2.40	2.30	1.90	2.10	2.40	5.30	12.45
1990	20.20	27.30	24.50	9.10	3.10	2.70	1.80	1.20	0.56	1.40	3.50	4.80	8.26
1991	18.60	41.40	48.90	16.30	6.00	3.70	2.80	2.00	1.80	1.70	2.60	4.30	12.36
1992	11.30	3.40	3.40	6.20	2.40	2.40	1.60	0.93	0.50	0.66	1.70	3.00	4.84
1993	31.60	35.50	42.50	18.90	6.70	4.10	3.20	2.50	2.00	2.70	4.80	5.30	13.21
1994	40.00	54.70	29.60	13.20	6.60	3.60	2.60	2.10	1.50	0.77	1.80	3.20	13
1995	10.60	20.10	72.90	15.40	4.50	3.40	2.50	1.30	0.80	0.82	1.70	3.40	11.45
1996	23.10	48.20	24.70	14.10	4.30	3.20	2.60	1.40	0.90	0.87	1.70	2.80	10.44
1997	20.00	48.70	43.70	10.50	3.60	3.10	2.20	1.90	1.80	1.70	1.80	3.10	11.61
1998	49.60	50.30	35.90	11.30	6.80	4.00	2.90	2.00	0.98	0.39	1.80	4.00	14
1999	25.90	54.00	68.70	30.90	16.20	6.20	5.20	2.70	2.00	3.60	2.40	3.50	17.33
2000	34.30	56.00	54.40	13.70	5.50	3.60	2.60	1.90	1.30	2.00	2.20	3.10	14.69
2001	43.40	49.60	56.20	25.80	10.70	5.00	4.00	3.20	2.60	2.10	1.70	3.70	17.68
2002	18.60	51.30	55.30	21.60	9.00	4.50	3.50	2.70	2.40	1.80	2.90	4.20	14.49
2003	37.30	51.00	65.00	20.70	8.00	4.50	3.50	2.50	1.70	0.77	1.60	2.90	16.49
2004	32.50	42.70	43.00	17.20	6.70	4.00	3.10	2.40	2.10	1.20	1.60	3.50	13.83
2005	14.10	50.50	48.80	17.50	5.30	3.80	2.90	1.20	0.72	0.40	1.30	2.60	11.61
2006	36.10	40.10	60.40	19.10	8.30	4.40	3.30	2.40	2.00	1.40	2.40	4.20	16.05
2007	17.00	40.16	44.20	16.30	6.30	3.90	3.10	2.10	1.30	0.96	1.90	3.60	11.58
Media	25.73	41.30	46.39	16.86	6.77	3.93	2.99	2.20	1.95	1.85	2.79	4.12	12.85
Máximo	67.80	56.30	81.80	33.9	16.20	6.30	5.60	3.90	4.90	4.00	11.50	11.60	20.72
Mínimo	2.00	7.00	13.80	6.20	2.40	2.20	1.60	0.93	0.50	0.39	1.20	1.80	4.84

Fuente: Informe de Hidrología e Hidráulica del estudio para la Viabilidad Técnico Económico de la C.H. Molloco 2008

Asimismo, en la figura 3.1 se presenta el comportamiento del caudal máximo, medio y mínimo del río Molloco.

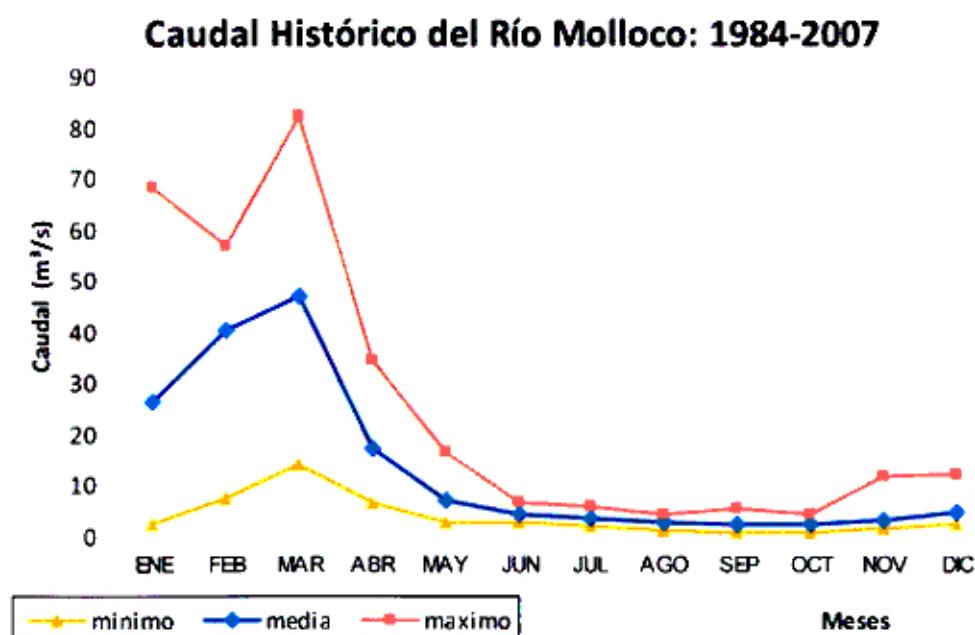


Figura 3.1 Caudales mensuales del río Molloco

3.3 METODOLOGIA EN LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO

La metodología a considerar en el presente estudio con el objeto de calcular el caudal ecológico en el Perú consiste en:

- A) Disponer de un régimen de caudales mensuales de los últimos 10 años del río a evaluar.
- B) Aplicar los métodos más usados a nivel internacional, como el Método Ecuatoriano, Escocés, Suizo y Asturiano.
- C) Construir un canal artificial y con la ayuda de un correntómetro controlar el flujo de agua, de acuerdo a los resultados anteriores.

D) Con los resultados de cada método, realizar mediciones de calidad del agua, a fin de contrastarlo con las normas existentes.

E) Seleccionar la especie representativa.

F) Finalmente, el caudal ecológico se determina al promediar los caudales que cumplan con todas las normas establecidas, referentes a la calidad del agua.

3.3.1 INFORMACIÓN HIDRÁULICA

Se dispone de secciones transversales al río, en las cuales se tomaron datos del fondo del cauce, en cada una de ellas se resalta la ubicación de los límites de la zona de vegetación, entre otros.

El levantamiento de las secciones tiene como objetivo resaltar, identificar y demarcar las secciones de control, las cuales están dividiendo en tramos de observación (subtramos) el río, cabe indicar que dichos trabajos no se pudieron realizar. Pero estas en su reemplazo se desarrollaron con las secciones de aforo.

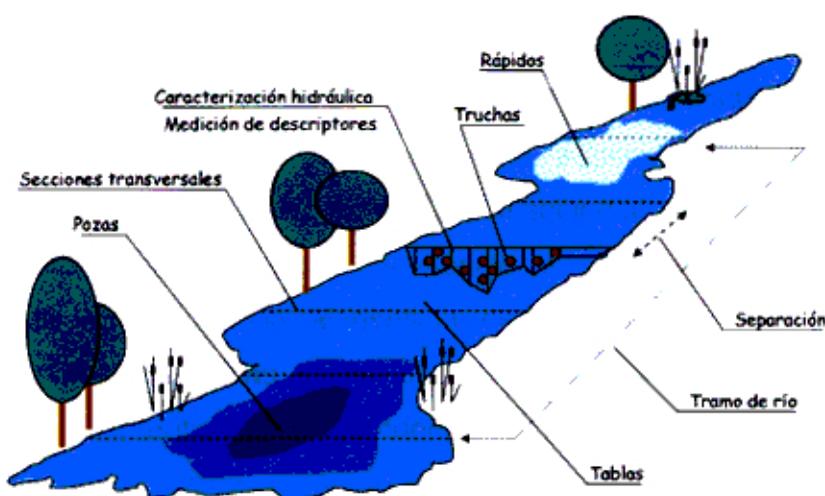


Figura 3.2 Caracterización hidráulica de un tramo de río Molloco

3.3.2 INFORMACIÓN HIDROBIOLÓGICA

Funciones de idoneidad del Hábitat

Para la caracterización y simulación de los factores abióticos que controlan el hábitat, es necesario que la adquisición de datos se realice de manera directa, con medidas de campo; en casos en que esto no es factible, entonces resulta necesario utilizar modelos de simulación. De hecho, lo más empleado suele ser una combinación de datos de campo y resultados de la simulación. Por ejemplo, una simulación hidrodinámica requiere ciertas medidas de campo como la composición del sustrato (rugosidad), valores de caudal, relación altura-caudal y la topografía; todas ellas son necesarias para utilizar el modelo.

Desde el punto de vista biológico, si la data de campo es insuficiente para la caracterización estacional de las o especie de referencia, los requerimientos de datos necesarios son suplidos al utilizar generalmente antecedentes de investigaciones realizadas con áreas geográficas afines, lo cual será ajustado en posteriores monitoreos una vez establecido el caudal de referencia.

3.4 SELECCIÓN DE LA ESPECIE REPRESENTATIVA PARA LA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO

A) Criterios de Selección de las Especies Representativas

Son diversos los criterios de selección de especies representativas, en los cuales predominan el criterio biológico y el socioeconómico. El criterio desde el punto de vista biológico es que las especies sean naturales y que tengan un rol importante en la cadena alimenticia del tramo; desde el punto de vista socioeconómico que ellas tengan uno o varios usos relevantes (que sea parte de la dieta alimenticia o como fuente de ingreso económico). Para ello se requiere información de curvas de idoneidad de hábitat en términos hidráulicos, para lo cual se ha procedido a la realización de trabajos de campo así como la revisión de información disponible.

B) Especies y Grupo Taxonómico Identificados en el Tramo en Estudio

En el tramo de estudio, área de acción de la Central Hidroeléctrica de Molloco y la confluencia del río Ticlla se ha identificado que la especie característica en este sector del río Salcca es *Oncorhynchus mykiss*. Se ha obtenido registros en todas las estaciones de monitoreo en sus estados adultos, juveniles y alevinos.

Macrobentos

De igual manera se han identificado un grupo poblacional agrupado en su forma de vida denominados como macroinvertebrados bentónicos, los cuales cumplen la función importantísima como parte de la cadena alimenticia y ser un indicador de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos.

A) Macro-invertebrados Bentónicos

Los invertebrados bentónicos (y especialmente los macroinvertebrados) son uno de los grupos biológicos más ampliamente usados como indicadores de calidad del agua. Esto se debe a que integran muchas de las cualidades que se esperan de un indicador. Entre éstas, destaca su elevada diversidad y que estén representados diferentes taxones, con requerimientos ecológicos diferentes relacionados con las características hidromorfológicas (velocidad del agua, sustrato), fisicoquímicas y biológicas del medio acuático. En el ámbito de la aplicación, los invertebrados bentónicos se consideran útiles para la detección y seguimiento de los siguientes tipos de presiones:

Presiones fisicoquímicas:

- Contaminación térmica
- Cambios en la mineralización del agua
- Contaminación orgánica
- Eutrofización
- Contaminación por metales u otros contaminantes

Presiones hidromorfológicas relacionadas con:

- Alteración del régimen de caudal / tasa de renovación
- Alteración de la morfología del lecho fluvial

Una ventaja de los macroinvertebrados es que su muestreo es relativamente sencillo al igual que su identificación (sólo se requiere identificar a nivel de familia para algunas métricas). En el caso de los macroinvertebrados bentónicos la identificación requiere un mayor esfuerzo (en general hay que determinar las especies).

Los invertebrados bentónicos indican alteraciones a medio y largo plazo, ya que sus especies poseen ciclos de vida entre menos de un mes hasta más de un año. Su valor indicador abarca un ámbito temporal intermedio que complementa el de otros elementos biológicos con tiempos de respuesta más cortos, como el fitobentos, o más largos, como los peces.

B) Representatividad del pez

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es oriunda de América del Norte, y ha sido introducida a la cuenca alta del río Molloco con la finalidad de contar con un nuevo recurso y fuente de alimento para la población local, así como el de fomentar la pesca deportiva, debido a que las especies nativas son de tamaño pequeño y la abundancia es baja.

Justamente, esta baja diversidad de especies, sumada a las bajas temperaturas de las aguas, a la alta concentración de oxígeno disuelto y a la disponibilidad de alimento, favorece el establecimiento y la invasión de la trucha arco iris. Esta especie, por haber sido introducida tanto para el consumo como para las actividades de pesca deportiva son de mayor porte que las especies nativas (gran tamaño), por lo que tiene mayor atractivo. Sin embargo, dado su comportamiento y tipo de alimentación, se han transformado en grandes depredadores de las especies autóctonas.

Por ello, desde el punto de vista de conservación del hábitat acuático, *Oncorhynchus mykiss* es una especie invasora que modifica la composición de la cadena alimenticia, al impactar sobre las poblaciones de animales invertebrados, las cuales le sirven de alimento como los representantes del

zooplancton (microcrustáceos: ciclopoideos, calanoideos, cladóceros, ostrácodos, etc.), perifiton (anfípodos: gammarus y hyalella y larvas de insectos de las órdenes diptera, plecoptera, odonata, etc.) y bentos (anélidos, platelmintos, etc.). Es muy posible que las poblaciones de todos estos organismos se vean disminuidas por efecto de la depredación ejercida por la trucha introducida.

De manera general, los salmónidos, son predadores visuales y se guían por la abundancia, el tamaño y el color de sus presas. Sin embargo, cuando sus presas preferidas escasean, pueden alimentarse de otras especies. La trucha arco iris se alimenta principalmente de insectos acuáticos y terrestres, crustáceos y peces.

Existe literatura especializada en lo referente al impacto por la introducción de la trucha arco iris a los ríos y cuerpos de aguas alto-andinos. Entre los impactos que produce se pueden mencionar:

- La trucha arco iris depreda a las especies nativas como *Orestias* sp. y *Trichomycterus* sp. provocado una reducción drástica en su población. Esta disminución se da, por la escasez de alimento y porque los salmónidos exóticos depredan a los peces autóctonos (especialmente a juveniles y larvas), ya que son más grandes que ellos.
- En algunos lugares se ha registrado una disminución en las poblaciones de renacuajos de ranas endémicas, de organismos bentónicos y de crustáceos.

La evaluación de vertebrados acuáticos como peces fue realizado en el río Molloco a la altura de los poblados de San Pedro, San Pablo y Combapata, así como en la cuenca baja y alta del río Ticlla. A la altura del poblado San Pedro en el río Molloco se registró la captura de un individuo adulto de *Oncorhynchus mykiss* "trucha" así como de un ejemplar juvenil de *Trichomycterus* sp. "bagre" por parte de los pobladores de la zona.

En la cuenca alta del río Molloco con dirección a Sibinacocha en la laguna Pisacamayo (UTM 0277856 – 8454490) que vierte agua a la cuenca del Molloco, se registró la presencia de alevinos de "trucha" y a la altura de la comunidad de Huacahuata, en el río Huacaña (UTM 0279875 – 8457684) se capturó con red un juvenil de "trucha" de aproximadamente 15 cm de largo el que luego fue liberado.

Así también en el río Eslica cercano a su confluencia con el río Molloco se capturó con red un juvenil de "trucha" de 20 cm, el que fue registrado y liberado. En el río Tocallo a la altura del poblado de Santa Bárbara se registró la pesca de habitantes de la zona mediante anzuelo y la captura de un juvenil de "trucha" de 22 cm de largo.

En el momento de las mediciones no se capturó la "trucha" en la cuenca baja del río Molloco; sin embargo, su presencia es referida por parte de los pobladores.

3.5 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS PLANTEADOS

Tomando como referencia los métodos planteados en el capítulo 2, considerando los métodos más usados a nivel mundial, siendo conscientes de la necesidad de preservar las especies más representativas del río Molloco y considerando el factor ecológico y medio ambiental de la zona; se ha tomado como referencia 4 métodos del presente estudio, estos son:

- Método Ecuatoriano.
- Método Escocés.
- Método Suizo.
- Método Asturiano.

3.5.1 MÉTODO ECUATORIANO (5% DEL PROMEDIO ANUAL)

$$Q_{ECO} = 5\% * Q_{MEDIA ANUAL}$$

$$Q_{MEDIA ANUAL} = 12.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ECO} = 0.05 * 12.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ECO} = 0.6425 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la figura 3.3 se muestra gráficamente el caudal ecológico mínimo que se deberá de dejar pasar por la presa Japo según el método del 5% del caudal medio anual que es de $0.6425 \text{ m}^3/\text{s}$.

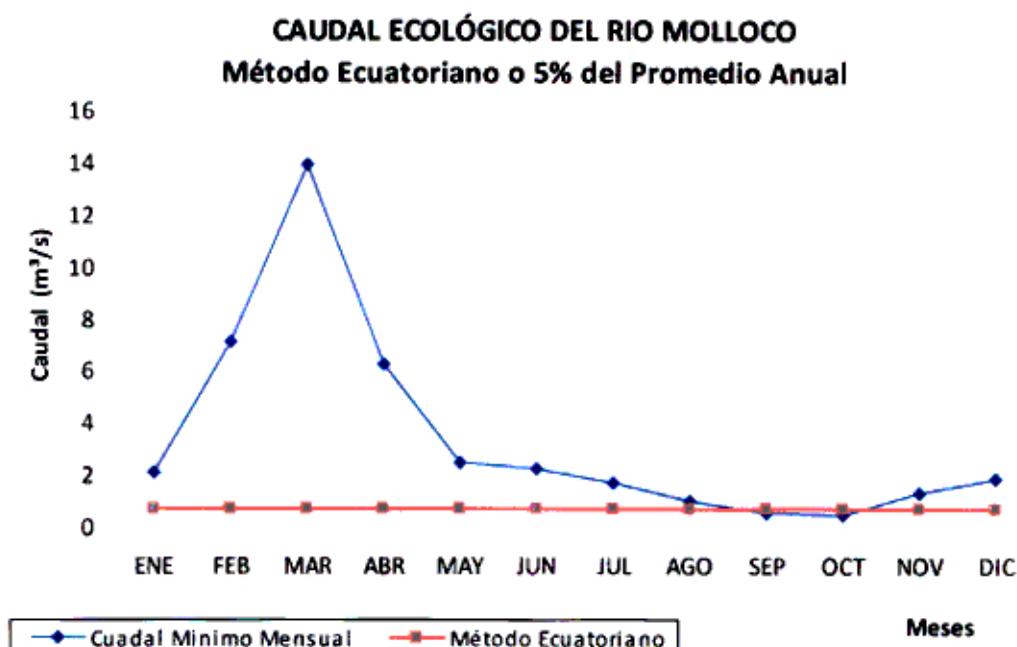


Figura 3.3 Método Ecuatoriano (Método del 5%)

Evaluación Experimental

Para la evaluación de este método se tuvo que construir un canal artificial y con la ayuda de un correntómetro se pudo ir controlando los flujos de agua en forma progresiva (tal como se muestra en la figura 3.4). Para este método se dispuso de un caudal de $0.6425 \text{ m}^3/\text{s}$, luego se procedió a tomar las muestras del agua a fin de determinar la calidad (tal como se muestra en la figura 3.5); los resultados de las mediciones se ven en la tabla 3.3.



Figura 3.4 Canal artificial y equipos de medición

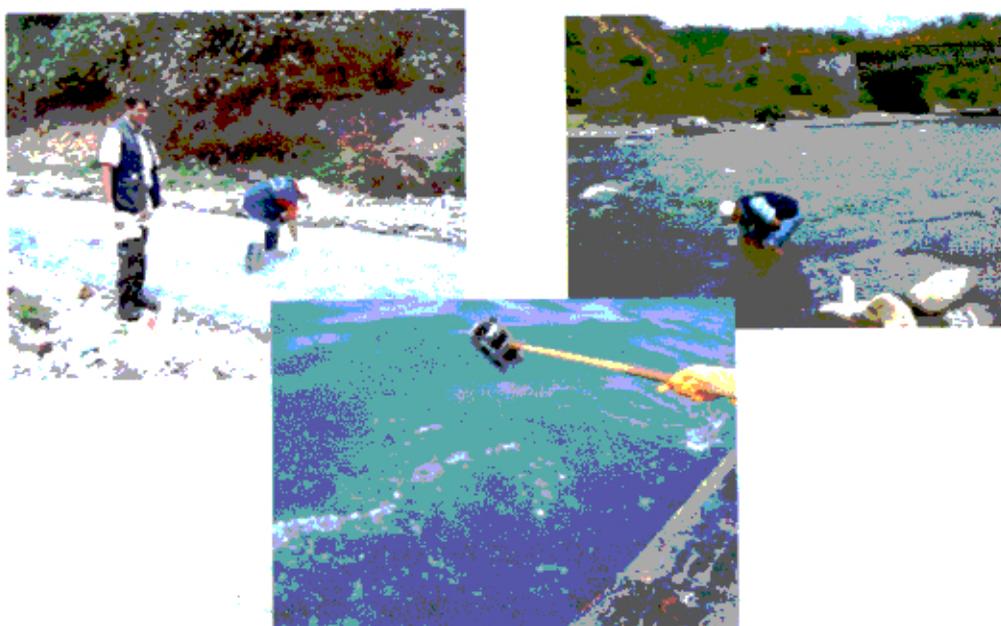


Figura 3.5 Toma de muestras

Tabla 3.3 Resultados de las mediciones con el método Ecuatoriano

INDICADORES	Unidades	Valor Medido	Valor Normado	¿Aprueba las Normas?
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	17	<10	NO
Oxígeno Disuelto	mg/L	3	>5	NO
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	13	25-100	NO
Aceites y Grasas	mg/L	-	0	SI
Plomo	mg/L	-	<0.001	SI
Mercurio	mg/L	-	<0.0001	SI
Índice de Iones de Hidrogeno (pH)	unidad	5.5	6.5-8.5	NO

De los resultados podemos concluir que dicho caudal no es conveniente, ya que no cumple con todas las normas establecidas.

3.5.2 MÉTODO ESCOCÉS (3 MESES CRÍTICOS)

Consiste en tomar el 20% del caudal medio mensual de 3 meses críticos consecutivos, de acuerdo a este concepto tenemos que los valores más bajos corresponden a los meses de Agosto, Setiembre y Octubre de 1992.

$$Q_{\text{PROM. 3 MESES CRIT. (1992)}} = (0.93 + 0.50 + 0.66) / 3$$

$$Q_{\text{PROM. 3 MESES CRIT. (1992)}} = 0.6967 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{ECO}} = 0.20 * 0.67 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{ECO}} = 0.139 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la Figura 3.6 se muestra gráficamente el caudal ecológico mínimo que se deberá de dejar pasar por la presa Japo según el método Escocés ó método de los tres meses más bajos, cuyo resultado es 0.139 m³/s.

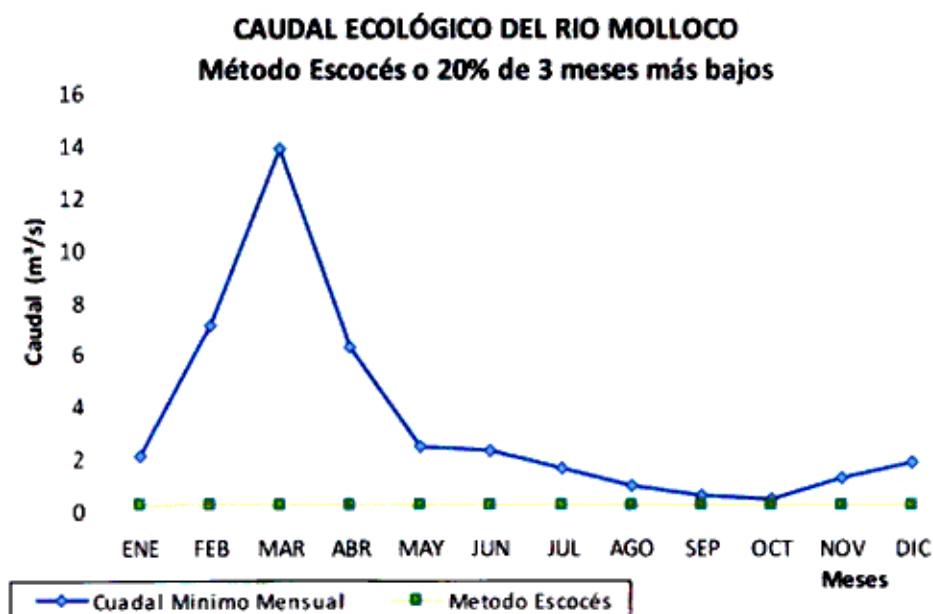


Figura 3.6 Método Escocés o 20% de 3 meses bajos

Evaluación Experimental

Para la evaluación de este método se usó el canal artificial ya construido, y con la ayuda de un correntómetro se pudo ir controlando los flujos de agua en forma progresiva (tal como se muestra en la figura 3.4). Para este método se dispuso de un caudal de $0.139 \text{ m}^3/\text{s}$, luego se procedió a tomar las muestras del agua a fin de determinar la calidad (tal como se muestra en la figura 3.5); los resultados de las mediciones se ven en la siguiente tabla:

Tabla 3.4 Resultados de las mediciones con el Método Escocés

INDICADORES	Unidades	Valor Medido	Valor Normado	¿Aprueba las Normas?
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	13	<10	NO
Oxígeno Disuelto	mg/L	2	>5	NO
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	27	25-100	SI
Aceites y Grasas	mg/L	-	0	SI
Plomo	mg/L	-	<0.001	SI
Mercurio	mg/L	-	<0.0001	SI
Índice de Iones de Hidrogeno (pH)	unidad	4.5	6.5-8.5	NO

De los resultados anteriores podemos concluir que dicho caudal no es conveniente, ya que no cumple con todas las normas exigidas.

3.5.3 MÉTODO SUIZO

Considerando el caudal medio anual de los últimos 10 años (tabla 3.1), se tiene un caudal medio anual de $12.85 \text{ m}^3/\text{s}$; y considerando un coeficiente de 1.8, valor promedio de lo recomendado, tenemos:

$$Q_{ps} = (a \cdot Q_{M-A})/10$$

$$a = 1.8$$

$$Q_{M-A} = 12.85$$

$$Q_{ps} = 2.313 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ps} = 2313 \text{ l/s}$$

$$Q_{ps} = 560 + 1753 \text{ l/s}$$

Aplicando la metodología, ya descrita en el capítulo 2, se tiene:

- Para $Q_{ps} > 560 \text{ l/s}$; el caudal ecológico mínimo sería 280 l/s , añadiéndose 31 l/s por cada 100 l/s adicionales.

$$Q_E = 280 + 1753/100 \cdot 31$$

$$Q_E = 280 + 543.43$$

$$Q_E = 823.43 \text{ l/s}$$

$$Q_E = 0.823 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la Figura 3.7 se muestra gráficamente el caudal ecológico mínimo que se deberá de dejar pasar por la presa Japo según el método Suizo, cuyo resultado es $0.823 \text{ m}^3/\text{s}$.

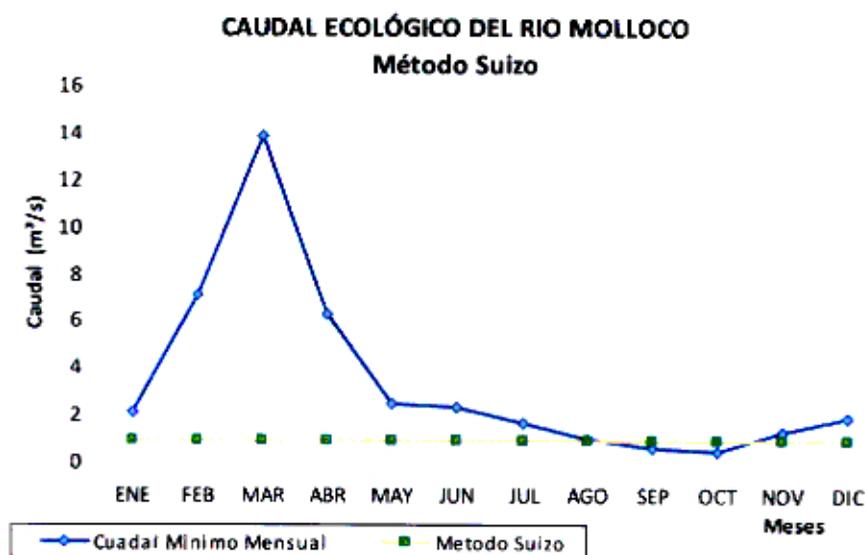


Figura 3.7 Método Suizo

Evaluación Experimental

Para la evaluación de este método se usó el canal artificial ya construido, y con la ayuda de un correntómetro se pudo ir controlando los flujos de agua en forma progresiva (tal como se muestra en la figura 3.4). Para este método se dispuso de un caudal de $0.823 \text{ m}^3/\text{s}$, luego se procedió a tomar las muestras del agua a fin de determinar la calidad (tal como se muestra en la figura 3.5); los resultados de las mediciones se ven en la siguiente tabla:

Tabla 3.5 Resultados de las mediciones con el método Suizo

INDICADORES	Unidades	Valor Medido	Valor Normado	¿Aprueba las Normas?
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	8	<10	SI
Oxígeno Disuelto	mg/L	7	>5	SI
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	35	25-100	SI
Aceites y Grasas	mg/L	-	0	SI
Plomo	mg/L	-	<0.001	SI
Mercurio	mg/L	-	<0.0001	SI
Índice de Iones de Hidrogeno (pH)	unidad	7.5	6.5-8.5	SI

De los resultados anteriores podemos concluir que dicho caudal si es conveniente, ya que cumple con todas las normas exigidas.

3.5.4 MÉTODO ASTURIANO

El caudal ecológico mínimo se calcula a partir del Q_{ps} , obtenido mediante la fórmula aceptada por la legislación suiza antes mencionada. Para el nivel de protección, el caudal ecológico mínimo será el mayor de los valores obtenidos de las siguientes fórmulas:

$$\text{➤ } Q_{ECO} = 50 \text{ l/s} \quad (1)$$

$$\text{➤ } Q_{ECO} = 0,35 \cdot Q_{ps} \quad (2)$$

$$\text{➤ } Q_{ECO} = (15 \cdot Q_{ps}) / (\ln Q_{ps})^2 \quad (3)$$

$$\text{➤ } Q_{ECO} = 0,25 \cdot Q_{ps} + 75 \text{ l/s} \quad (4)$$

En este caso, con un $Q_{ps} = 2313 \text{ l/s}$, obtenemos los siguientes resultados

$$Q_{ECO} = 50 \text{ l/s} \quad (1) \qquad Q_{ECO} = 810 \text{ l/s} \quad (2)$$

$$Q_{ECO} = 578.2 \text{ l/s} \quad (3) \qquad Q_{ECO} = 653.3 \text{ l/s} \quad (4)$$

Por lo tanto, $Q_E = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$

En la figura 3.8 se muestra gráficamente el caudal ecológico mínimo que se deberá de dejar pasar por la presa Japo según el método Asturiano, cuyo resultado es $0.810 \text{ m}^3/\text{s}$.

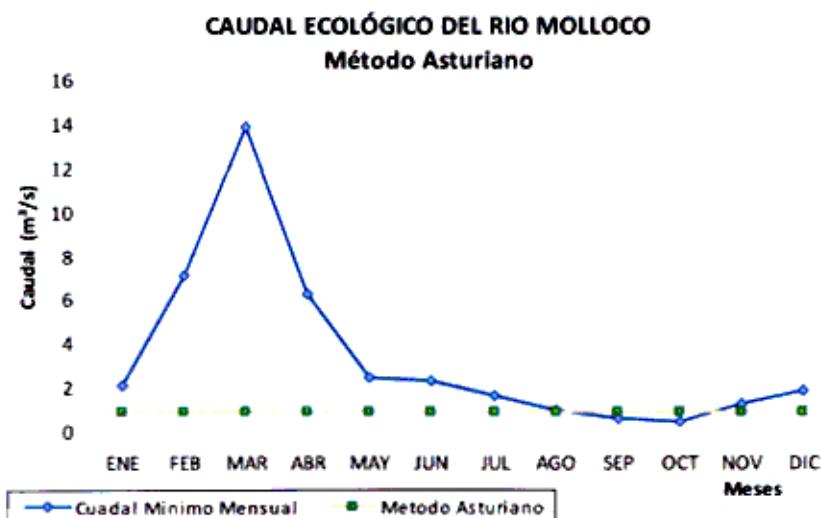


Figura 3.8 Método Asturiano

Evaluación Experimental

Para la evaluación de este método se uso el canal artificial ya construido, y con la ayuda de un correntómetro se pudo ir controlando los flujos de agua en forma progresiva (tal como se muestra en la figura 3.4). Para este método se dispuso de un caudal de $0.810 \text{ m}^3/\text{s}$, luego se procedió a tomar las muestras del agua a fin de determinar la calidad (tal como se muestra en la figura 3.5); los resultados de las mediciones se ven en la siguiente:

Tabla N° 3.6: Resultados de las mediciones con el método de Asturiano

INDICADORES	Unidades	Valor Medido	Valor Normado	¿Aprueba las Normas?
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	9	<10	SI
Oxígeno Disuelto	mg/L	8	>5	SI
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	30	25-100	SI
Aceites y Grasas	mg/L	-	0	SI
Plomo	mg/L	-	<0.001	SI
Mercurio	mg/L	-	<0.0001	SI
Índice de Iones de Hidrogeno (pH)	unidad	7.2	6.5-8.5	SI

De los resultados podemos concluir que dicho caudal si es conveniente, ya que cumple con todas las normas exigidas.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 SELECCIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO

Debido al alcance del estudio que constituye una primera aproximación de caudal ecológico, para la determinación de los caudales ecológicos se adopta el promedio entre el valor del caudal ecológico obtenido por el método suizo y el método asturiano.

Para complementar esta evaluación se recomienda desarrollar programas de monitoreo que permitan completar por lo menos los ciclos hidrológicos característicos.

Tabla 4.1 Resumen de los métodos aplicados

Nº	Métodos	Caudal Ecológico (m ³ /s)	¿Es aplicable en el Perú?	Observaciones
1	Ecuatoriano	0.6425	NO	NO cumple las normas vigentes
2	Escocés	0.1390	NO	NO cumple las normas vigentes
3	Suizo	0.8230	SI	SI cumple las normas vigentes
4	Asturiano	0.8100	SI	SI cumple las normas vigentes
	Promedio (3 y 4)	0.8165		

Por lo tanto, el caudal ecológico mínimo es de 0.8165 m³/s.

Con respecto al Método Ecuatoriano; podemos observar en la tabla 3.3 que no todos los indicadores de calidad de agua han cumplido las exigencias normativas, por lo que no es recomendable usar dicho caudal ($0.6425 \text{ m}^3/\text{s}$) ya que pondría en riesgo el hábitat existente entre la bocatoma y la descarga de la central hidroeléctrica, así como la ecología y el medio ambiente.

Con respecto al Método Escocés; podemos observar en la tabla 3.4 que no todos los indicadores de calidad de agua han cumplido las exigencias normativas, por lo que no es recomendable usar dicho caudal ($0.1390 \text{ m}^3/\text{s}$) ya que pondría en riesgo el hábitat existente entre la bocatoma y la descarga de la central hidroeléctrica, así como la ecología y el medio ambiente.

Con respecto al Método Suizo; podemos observar en la tabla 3.5 que todos los indicadores de calidad de agua han cumplido las exigencias normativas, por lo que sí es recomendable usar dicho caudal ($0.8230 \text{ m}^3/\text{s}$) ya que no pondría en riesgo el hábitat existente entre la bocatoma y la descarga de la central hidroeléctrica; preservando la ecología y el medio ambiente.

Con respecto al Método Asturiano; podemos observar en la tabla 3.6 que todos los indicadores de calidad de agua han cumplido las exigencias normativas, por lo que sí es recomendable usar dicho caudal ($0.8100 \text{ m}^3/\text{s}$) ya que no pondría en riesgo el hábitat existente entre la bocatoma y la descarga de la central hidroeléctrica; preservando la ecología y el medio ambiente.

Con respecto al caudal mínimo recomendado ($0.8165 \text{ m}^3/\text{s}$), podemos observar en la tabla 4.1, que dicho caudal se obtiene de promediar los caudales de los métodos que si cumplen las normas establecidas, es decir con el Método Suizo y el Método Asturiano; descartando los primeros dos Métodos (Ecuatoriano y Escocés) debido a que sus indicadores de calidad del agua no están en el rango establecido por las normas.

4.2 INCREMENTOS EN EL CAUDAL ECOLÓGICO

Asimismo, el río Molloco recibirá el aporte de afluentes entre la presa Japo y el río Colca, que son las cuencas de los ríos Pisacamayo, Huacaña, Ticlla, Eslica, y Tocallo, caudal que no es considerado en el presente estudio.

El río Molloco irá incrementando su caudal ecológico mínimo a lo largo de su eje, desde la presa Japo hasta llegar al punto de control 1 (aguas abajo de la confluencia con el río Ticlla) un caudal promedio anual de $0.80 \text{ m}^3/\text{s}$. El río Molloco ira incrementado el caudal entre el punto de control 1 con el punto de control 2 llegando a un caudal promedio anual de $1.05 \text{ m}^3/\text{s}$, asimismo se incrementa el caudal entre el punto de control 2 con el punto de control 3 llegando a un caudal promedio anual de $1.30 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal que es suficiente para las necesidades del pueblo de Latica, para el riego de sus tierras de cultivo, el agua para consumo es de un manantial, ubicado aguas arriba del pueblo.

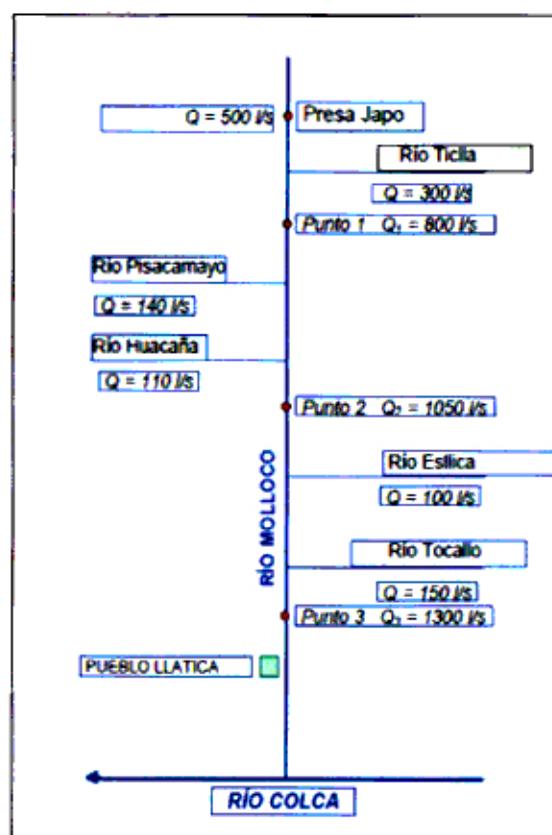


Figura 4.1 Afluentes del río Molloco

CONCLUSIONES

1. De las hipótesis planteadas, se llegaron a comprobar ambas, tanto la hipótesis general, como la específica.
2. La metodología propuesta en este trabajo es aplicable sólo a los ríos costeros de nuestro país, en los cuales se tienen serias limitaciones en las épocas de estiaje.
3. Los métodos hidrológicos e hidráulicos no consideran parámetros biológicos; tienen pocos antecedentes sobre requerimientos ambientales y requieren levantamiento de línea de base de alto costo.
4. Los valores de caudales ecológicos propuesto en otros países son subjetivos puesto que no contemplan aspectos medioambientales ni técnicos.
5. Las razones por las cuales se escogieron a los Métodos Suizo y Asturiano son por que más se acercan a nuestra realidad debido a que consideran los aspectos ecológicos y medio ambientales.
6. El monitoreo de los parámetros ambientales de los ríos requiere de una cuidadosa evaluación sobre donde recolectar las muestras aguas arriba y aguas debajo de la captación y de la descarga de la central hidroeléctrica, respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. La presente metodología es aplicable a las centrales hidroeléctricas ubicados en los ríos costeros del país con una potencia mayor a 20 MW, debido al alto caudal de agua que requieren para generar energía.
2. El caudal ecológico calculado en la presente tesis, no incide en el costo spot de la energía, debido a su valor ($0.8 \text{ m}^3/\text{s}$) que es aproximadamente el 5% del caudal nominal y obviamente no tendría efectos, pero podemos sugerir que este asunto podría ser tema de otra Tesis de Maestría.
3. Se debería implementar de manera oficial una norma a fin de determinar el caudal ecológico, ya que hasta ahora, en muchos países incluyendo el nuestro, el caudal ecológico se fija solo en base a los requerimientos de las poblaciones que están situadas en la zona comprendida entre la captación y la descarga de una central hidroeléctrica (que varía entre 10 a 30 Km de cauce) y las Autoridades acceden por ser una necesidad vital, pero sin ningún fundamento técnico, ni ambiental.
4. La implementación del caudal ecológico propuesto, debe realizarse de manera paulatina en el mediano plazo, siendo recomendable también optimizar el uso y regulación de los recursos hídricos y potenciar la búsqueda y desarrollo de proyectos de afianzamiento hídrico.
5. Se debe fomentar la investigación con convenios entre la Universidad y Empresa para tratar de lograr sinergias que redundarán a favor del país.

6. La autoridad competente debe redoblar sus programas de vigilancia y control sobre las empresas mineras e industriales que siguen contaminando nuestros cauces.
7. En caso de no determinar el caudal ecológico, se presentarían ciertas consecuencias como:

A) Consecuencias biológicas

- Efectos sobre los recursos hidrobiológicos y la diversidad acuática del sistema intervenido.
- Alteraciones de los ecosistemas riparios o ribereños.
- Cambios en la cantidad y frecuencia de descarga de sedimentos.

B) Consecuencias sociales y culturales

- Cambios en el suministro y la calidad del agua a las poblaciones en el curso de la red fluvial intervenida.
- Efectos sobre la cultura y las tradiciones locales relacionadas con el río o quebrada.

C) Consecuencias económicas

- Costos relacionados con el tratamiento de las aguas remanentes y/o de la reubicación de bocatomas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Guillermo Marraco**, Paper "Estudio de caudal ecológico para el sistema del río dulce y sus humedales", Argentina 2010.
- [2] **D. Baeza Sanz, P. Vizcaino Martínez**, Paper "Estimación de caudales ecológicos en dos cuencas de Andalucía. Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas", España 2009.
- [3] **Scotta Energia Automazione**, Paper "Memoria de cálculo para el paso del caudal ecológico en la Central Hidroeléctrica del Río Picoiquén", Italia 2010.
- [4] **Diego García de Jalón, Marta González del Tánago**, Paper "El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles", España 2010
- [5] **Gabriela Jamett Domínguez**, "Evaluación del instrumento caudal ecológico, panorama legal e institucional en Chile y Brasil", Universidad de Chile 2008
- [6] **EGASA**, "Estudio de impacto ambiental de la Central Hidroeléctrica de Molloco", Perú 2008
- [7] **Conrado Tobon**, "Caudales Ecológicos desde la perspectiva del manejo integral del recursos hídrico". Universidad Nacional de Colombia consultado via web: <http://www.redrisas.org/presentaciones/1.tobon.pdf>
- [8] **Pablo Olivares G.**, "Estimación de Caudales Ecológicos", CADE-IDEPE. polivares@cadeidepe.cl, Publicado en www.aic.cl
- [9] Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338
- [10] **Reynaldo Villanueva**, "Centrales Hidroeléctricas", UNI 2010