

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**“Determinación del Régimen de Caudal Ecológico en la Cuenca del río
Santa aplicando la Metodología de Tennant”**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR:

Bruno Chuquihuamani Saavedra

ASESOR:

Dra. Maribel Giovanna Guzmán Córdova

Lima, Febrero, 2022

RESUMEN

Es inevitable mencionar que el desarrollo del ser humano ha venido de la mano de la explotación de los recursos naturales que el planeta provee; sin embargo, el uso desmedido e indiscriminado de estos conllevará eventualmente a un desequilibrio ecológico que se traducirá en la escasez de elementos que satisfagan las necesidades básicas que hoy en día la población mundial necesita.

La minería, considerada como la veta dorada del desarrollo económico del Perú de los últimos años, ha traído no solo progreso a las comunidades y poblaciones más alejadas y afectadas por el abandono del Estado; sino también, ha llamado a una reflexión de cómo se puede disminuir la contaminación y manejar el recurso hidrológico de una manera responsable y adecuada.

En ese sentido el presente trabajo propone sentar las bases de futuros estudios que buscan determinar la relación que existe entre la actividad minera y el impacto que tiene en el consumo del caudal de ríos próximos y cercanos a la operación minera. El indicador que nos permitirá medir esta relación será el Caudal Ecológico (también conocido como *Caudal Ambiental*). Esta tesis abordará el análisis, evaluación y aplicación del método Tennant para determinar el Caudal Ecológico del río Santa, el cual se ha afectado por muchos años por la actividad minera.

La presente investigación propone trabajar con métodos hidrológicos, los cuales poseen como principal dato de entrada a los registros de mediciones de caudales diarias, semanales, mensuales o anuales. En este caso, el río Santa que forma parte de la cuenca del Pacífico, de la región hidrográfica del Pacífico en la región de Áncash, Perú; posee una predominante zona de actividad minera y es por ello considerada como adecuada para realizar el estudio en mención.

Posteriormente, con la metodología definida, y los datos de campo validados, se podrá analizar los resultados obtenidos para definir y evaluar el impacto de la minería en el caudal ecológico del Río Santa; donde se corroborará que esta industria no exige un consumo masivo del recurso hídrico ni pone en peligro la continuidad del ecosistema propio de la cuenca estudiada.

ABSTRACT

It is inevitable to mention that the development of human activity has gone along with the exploitation of the natural resources that the planet supplies; nevertheless, the excessive and non-discriminate use of these will eventually cause an ecological imbalance that will translate into a shortage of elements that will meet the basic needs that the world population needs in nowadays.

Mining, considered the jewel in the crown of Peru's long-term economic development, has not only contributed to the progress of the most distant communities and settlements affected by the abandonment of the government, but has also prompted reflection on how to reduce the contamination and manage hydrological resources in a more responsible and appropriate manner.

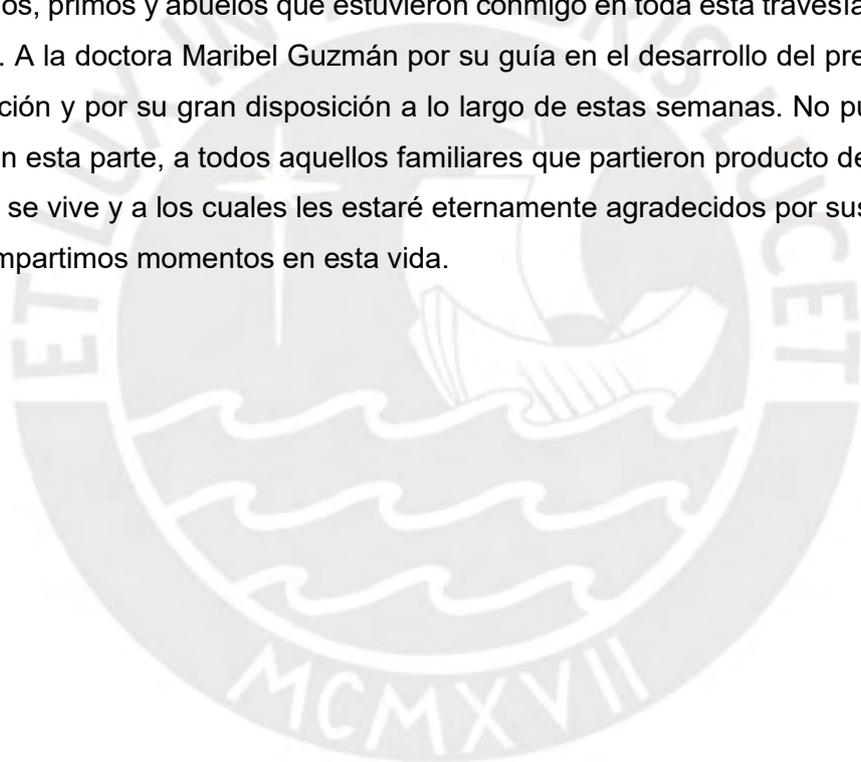
In this respect, the purpose of this work is to set the basis for future investigations that will seek to determinate the relationship between mining activity and the impacts it has on the consumption of the flow of the rivers near and close to the mine operations. The parameter that will enable us to gauge this relationship will be Ecological Flow (also known as Environmental Flow). This thesis will address the analysis, assessment, and implementation of the Tennant method to determinate the Ecological Flow of the Santa River, which for many years has been affected by mining activity.

This research aims to work with hydrological methods, which have as the main input data the registers of daily, weekly, monthly or annual flow measurements. In this instance, the Santa River, which is part of the Pacific basin of the Pacific hydrographic region in the Ancash region of Peru, has a predominantly mining area and is therefore considered appropriate for conducting the mentioned study.

Subsequently, with the defined methodologies and the validated field data, it will be possible to evaluate the results and define the impact of mining on the Ecological Flow of Santa River, where it will be confirmed that this industry does not demand a large-scale consumption of water resources and does not jeopardize the survival of the ecosystem of the basin being studied.

DEDICATORIA

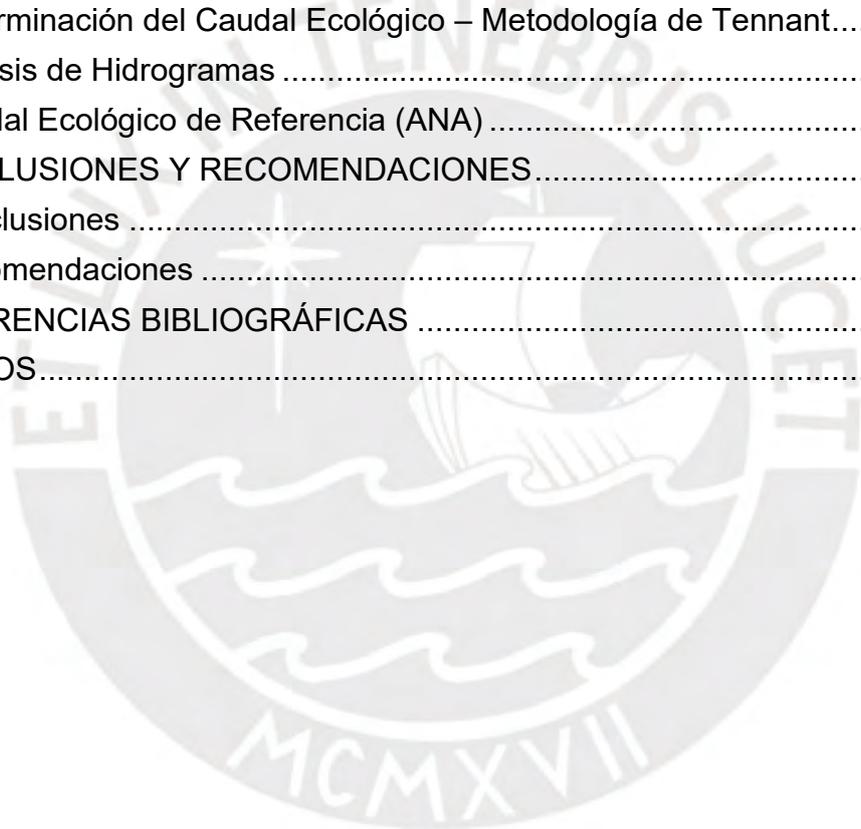
Esta tesis se la dedico a mi mamá, quien partió hace unos años, pero cuya presencia aún puedo sentir, y que estuvo conmigo a lo largo de todos estos años en la Universidad. A mi papá, por su apoyo incondicional y su gran labor y soporte como líder de familia. A mis hermanos, tíos, primos y abuelos que estuvieron conmigo en toda esta travesía llamada vida universitaria. A la doctora Maribel Guzmán por su guía en el desarrollo del presente trabajo de investigación y por su gran disposición a lo largo de estas semanas. No puedo dejar de mencionar en esta parte, a todos aquellos familiares que partieron producto de la coyuntura mundial que se vive y a los cuales les estaré eternamente agradecidos por sus enseñanzas mientras compartimos momentos en esta vida.



ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
1.1.	Justificación de la Investigación.....	9
1.2.	Determinación del Caudal Ecológico a nivel nacional e internacional.....	11
1.2.1.	Chile.....	12
1.2.2.	Ecuador.....	12
1.2.3.	México.....	13
1.2.4.	Comunidad Europea.....	13
1.2.5.	Australia.....	14
1.2.6.	Perú.....	14
1.3.	Objetivos.....	15
1.4.	Hipótesis.....	16
2.	MARCO TEÓRICO.....	17
2.1.	Situación Hídrica en el Perú.....	17
2.1.1.	Principales Fuentes de Agua en el Perú.....	17
2.1.2.	Gestión del recurso hídrico en el Perú.....	18
2.1.3.	Ejes de Políticas y Estrategias de la Autoridad Nacional del Agua.....	20
2.2.	Caudal Ecológico: Definiciones Clave.....	22
2.2.1.	Caudal.....	22
2.2.2.	Recurso Hídrico.....	24
2.2.3.	Gestión del Agua.....	24
2.2.4.	Metodología.....	25
2.3.	Caudal Ecológico.....	26
2.4.	Revisión de Métodos.....	28
2.4.1.	Métodos Hidrológicos.....	29
2.4.2.	Métodos Hidráulicos.....	31
2.4.3.	Métodos de Simulación de Hábitat.....	32
2.4.4.	Métodos Holísticos.....	33
3.	ÁREA DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO SANTA.....	35
3.1.	Localización.....	35
3.2.	Oferta Hídrica.....	38
3.2.1.	Fuente Hídrica.....	38
3.2.2.	Precipitación.....	39
3.2.3.	Caudal.....	40
3.3.	Demanda Hídrica.....	41
3.4.	Problemas ambientales en la cuenca del río Santa.....	46

3.4.1. Fuentes contaminantes en la cuenca del río Santa.....	48
3.4.2. Biodiversidad.....	49
3.5. Actividades mineras en la cuenca del río Santa	53
4. METODOLOGÍA.....	57
4.1. Materiales	57
4.2. Fundamentos de la Metodología de Tennant.....	58
4.3. Desarrollo de la Metodología	62
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	63
5.1. Análisis de Consistencia de Información de Estaciones Hidrométricas	63
5.1.1. Análisis Visual de Hidrogramas.....	63
5.1.2. Análisis Estadístico (Prueba ANOVA).....	65
5.2. Determinación del Caudal Ecológico – Metodología de Tennant.....	72
5.3. Análisis de Hidrogramas	77
5.4. Caudal Ecológico de Referencia (ANA)	79
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
6.1. Conclusiones	83
6.2. Recomendaciones	84
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
8. ANEXOS.....	92



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Disponibilidad Hidrológica por Cada Vertiente	17
Tabla 2: Distribución de Fuentes de Agua.....	18
Tabla 3: Listado de Autoridades Administrativas del Agua (ANA)	19
Tabla 4: Coordenadas del río Santa en el sistema UTM WGS-84.....	36
Tabla 5: Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Santa	36
Tabla 6: Aporte tributario que alimenta la cuenca del río Santa	39
Tabla 7: Tributarios del Santa.....	40
Tabla 8: Balance Hídrico: Demanda Poblacional.....	42
Tabla 9: Balance Hídrico: Demanda por Uso Agrario	43
Tabla 10: Balance Hídrico - Demanda Industrial y Minero.....	44
Tabla 11: Balance Hídrico: Demanda Global en cuenca del río Santa.....	45
Tabla 12: Volumen total estimado de vertimientos de agua residuales no autorizados.....	49
Tabla 13: Estatus ecológico de los ecosistemas en la cuenca media-alta del río Santa	50
Tabla 14: Especies en “Peligro Crítico” y “Severo” de extinción en la cuenca del río Santa.....	51
Tabla 15: Comparativo Pobreza y Pobreza Extrema en Ancash.....	54
Tabla 16: Estructura del PBI Real de Ancash	54
Tabla 17: Registro de estaciones hidrométricas	57
Tabla 18: Regímenes de ríos expresados en porcentaje con respecto al Caudal Medio Anual.....	61
Tabla 19: Resumen de los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico ANOVA	72
Tabla 20: Clasificación de Caudal Ecológico	72
Tabla 21: Niveles de Caudal Ecológico - Estación Parón	73
Tabla 22: Niveles de Caudal Ecológico - Estación Llanganuco	74
Tabla 23: Niveles de Caudal Ecológico - Estación Queracocha	76
Tabla 24: Cálculo del Caudal Ecológico en base a la metodología propuesta por el ANA	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de las 14 AAA a nivel regional.....	19
Figura 2: Sección transversal de aforos en un río modelo	23
Figura 3: Curvas de gastos típicos en un río modelo.....	23
Figura 4: Vista aérea de la cuenca del río Santa.....	24
Figura 5: Diagrama de distribución y gestión del agua para su manejo adecuado.....	25
Figura 6: Caudal medio, máximo y mínimo de la subcuenca Yunayacu.....	28
Figura 7: Clasificación de las metodologías que estiman el Caudal Ecológico.....	29
Figura 8: Ubicación de la cuenca del río Santa.....	36
Figura 9: Balance Hídrico de la cuenca del río Santa	37
Figura 10: Mapa de extensión de la cuenca del río Santa en Ancash	38
Figura 11: Caudal medio anual del Santa (2008-2018)	41
Figura 12: Distribución de Consumo del Caudal en el río Santa	46
Figura 13: Mapa de rastro de la contaminación en el río Santa	47
Figura 14: Biósfera del Parque Nacional del Huascarán	52
Figura 15: Unidades mineras en la cuenca del río Santa	55
Figura 16: Pasivos mineros en la cuenca del río Santa.....	56
Figura 17: Ubicación de Estaciones Hidrográficas.....	57
Figura 18: Porcentaje de caudal medio anual en el río Santa.....	59
Figura 19: Variación de los caudales promedio anuales de los caudales de las	64
Figura 20: Curvas de Caudal Ecológico - Estación Parón.....	74
Figura 21: Curvas de Caudal Ecológico - Estación Llanganuco	75
Figura 22: Curvas de Caudal Ecológico - Estación Queracocha.....	77
Figura 23: Hidrograma de Estación Parón.....	78
Figura 24: Hidrograma de Estación Llanganuco	78
Figura 25: Hidrograma de Estación Queracocha.....	79
Figura 26: Caudal Ecológico Referencial ANA - Estación Parón	82
Figura 27: Caudal Ecológico Referencial ANA - Estación Llanganuco.....	82
Figura 28: Caudal Ecológico Referencial ANA - Estación Queracocha	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Distribución de pasivos mineros a lo largo de la cuenca del río Santa	92
Anexo 2: Caudales medios mensuales. Periodo: 1954 - 2003 (Estación Parón)	93
Anexo 3: Caudales medios mensuales. Periodo: 1954 - 2003 (Estación Llanganuco)	94
Anexo 4: Caudales medios mensuales. Periodo: 1954 - 2003 (Estación Queracocha)	95
Anexo 5: Valores para la construcción de Hidrogramas de Estaciones	96
Anexo 6: Caudal Ecológico Referencial (CER) - ANA: Estación Parón.....	97
Anexo 7: Caudal Ecológico Referencial (CER) - ANA: Estación Llanganuco.....	98
Anexo 8: Caudal Ecológico Referencial (CER) - ANA: Estación Queracocha.....	99

1. INTRODUCCIÓN

La actividad minera no podría desarrollarse como se conoce hoy en día sin el recurso hídrico; a lo largo de los años esta industria ha dispuesto de los diferentes cuerpos de agua presentes en los territorios próximos a sus operaciones para poder abastecer a sus diferentes actividades y necesidades. Es innegable el impacto que esta actividad económica genera en el lugar donde asienta su actividad y por ello, ante el avance de las tendencias medioambientalistas, se busca implementar instrumentos que permitan conocer el impacto de esta actividad en particular sobre los cuerpos de agua. Ante esta necesidad surge el término de Caudal Ecológico, también mencionado en diferentes referencias bibliográficas como Caudal Ambiental.

El concepto de Caudal Ecológico nace ante la necesidad de establecer un Instrumento de Gestión Ambiental que permita mantener un porcentaje de agua que pueda asegurar la permanencia de la flora, la fauna y el ecosistema del entorno sin que exista el riesgo de agotar el caudal que satisface otras demandas, como lo son la poblacional, de las industrias y aquellas propias del balance ecológico. Este caudal mínimo, permite que los procesos, componentes, funciones y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que brindan bienes y servicios a la sociedad puedan asegurar su permanencia y perdurabilidad en el tiempo.

El caudal ecológico es definido según Environmental Flow Networks como *“la cantidad, calidad y régimen o estacionalidad de flujos requeridos para sostener los ecosistemas dulceacuícolas y estuarios, así como los servicios que provee, bajo escenarios de competencia por uso de agua”* (Global Environmental Flows Network, 2006). Este instrumento de gestión ambiental concilia en su definición la demanda social, ambiental y económica del agua y reconoce que la estabilidad de las cuencas hidrográficas depende de procesos físicos, químicos, biológicos y sociales; y que únicamente conservando el agua que estos necesitan, se puede garantizar su provisión futura.

Es así como el presente escrito analizará la relación existente entre la minería y su aporte (o consumo) con el Caudal Ecológico del río Santa, río que se encuentra cercano a una región de actividad minera predominante y dónde se buscará determinar el impacto de esta actividad económica en el equilibrio ecológico del cuerpo de agua por estudiar.

1.1. Justificación de la Investigación

- **Aspecto Metodológico:**

En la actualidad no existe una metodología única y obligatoria que determine el valor del Caudal Ecológico y se da por sentada como excluyente. Es decir, cada institución, autoridad e incluso país puede decidir qué metodología aplicará dependiendo de diferentes aspectos, dentro de los cuales resaltan 2: el registro histórico de la información disponible y las particularidades de cada cuerpo de agua.

Existen globalmente cuatro grandes categorías (las cuales serán detalladas en párrafos posteriores) y que son comúnmente utilizadas en la industria actual. Lo que se pretende alcanzar con esta investigación, es sentar las bases para la creación de futuras metodologías propias u originarias de nuestro país para que puedan ser aplicadas por las entidades reguladoras como el ANA. De esta manera se aplicará un método que nos permita conocer el caudal ecológico de los ríos del territorio peruano, tomando en cuenta cada una de sus características y particularidades; así como los desafíos y retos medio ambientales que tendrán que ser afrontados.

- **Aspecto Económico:**

Los ríos permiten satisfacer las necesidades de diferentes actividades económicas como lo son la minería, la agricultura, la pesca, la agricultura, entre otros. El riesgo de que la minería contamine y haga uso de un excesivo volumen de agua contribuiría de manera potencial a que no todas las actividades productivas puedan satisfacer sus necesidades de manera conjunta, esto perjudicaría a aquellos que dependen de estas actividades correspondientes al sector extractivo y pierdan su principal fuente de ingresos, situación que ocurre a muchas poblaciones ubicadas en las zonas andinas o en aquellas regiones de actividad minera histórica y tradicional. Se buscará estimar el consumo (porcentaje) de cada actividad para verificar si se cumple el equilibrio en la cuenca del Río Santa, es decir, verificar que en efecto se puedan satisfacer necesidades económicas, ambientales y sociales propias de la población.

- **Aspecto Ambiental:**

Es importante estudiar el recurso hídrico para preservar la integridad de diversos ecosistemas, su flora y fauna. Se deberá verificar que la demanda conjunta de caudal de la sociedad e industria, el porcentaje de caudal restante será el suficiente y que NO pondrá en peligro la perdurabilidad de las especies propias del ecosistema estudiado (cuenca del río Santa).

- **Aspecto Social:**

En la actualidad el principal problema para la generación de mayores proyectos de inversión minera es el "Factor Social", hecho que se manifiesta a través de los Conflictos Sociales que se han registrado a lo largo del Perú. Muchos de estos conflictos presentan razones justificadas; y otros son causados por falta de conocimiento sumado a factores políticos.

Las sociedades perciben como se explotan recursos minerales en su zona; sin embargo, no ven una mejoría en la calidad de vida ni un desarrollo sostenible que se manifieste en el transcurso de los años. La actividad minera no solo debe buscar aumentar el valor de las empresas, sino también el de las comunidades sobre las cuales se asientan; debe considerar a la comunidad como su aliada y en base a ello potenciar ambos sus recursos para que ambas entidades sean beneficiadas. Sin embargo, esto no implica que los roles o responsabilidades de la empresa privada y el estado deban de ser confundidas y alteradas. Por un lado, el Estado, a través del gobierno de turno, deberá de abastecer de servicios de calidad a los pobladores de la comunidad; mientras que la empresa privada (en este caso la empresa minera), se encargará de fortalecer los programas provistos por el estado, buscando asegurar no solo el crecimiento económico, sino también, el desarrollo conjunto de la comunidad.

- **Aspecto Legal:**

Hoy en día es bien sabido que la viabilidad de un proyecto no solo radica en el aspecto económico, sino también, en la factibilidad de los distintos campos que involucra el desarrollo del proyecto minero. Una de estas viabilidades, es el aspecto legal, y en el caso de minería, se basa en la obtención de permisos y licencias para poder hacer uso de los diferentes recursos naturales, en este caso en particular, se refiere al recurso hídrico. Todas las unidades mineras deberán realizar los trámites respectivos para poder hacer uso del agua de ríos, ya que tendrán un límite de uso respecto del caudal que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) otorgue a esta empresa.

Debe tomarse en cuenta, que el ANA puede decidir si otorga o no el permiso a la empresa, ya que se deberá analizar previamente la situación actual de la fuente de agua que irá a ser extraída. El incumplimiento en el uso, es decir exceder el volumen permitido, recaerá en una sanción legal (y una multa) para la empresa infractora.

1.2. Determinación del Caudal Ecológico a nivel nacional e internacional

Resulta interesante mostrar como varios países ya tienen definida en su legislación, y desde hace muchos años, el concepto de caudal ecológico (o caudal ambiental), así como la metodología respectiva para su cálculo e interpretación. Dentro de los principales países que

cuentan con este instrumento de gestión ya definido en sus legislaciones, se puede citar a: Chile, Ecuador, México, España, Australia y a la Comunidad Europea.

A continuación, se procederá a detallar parte de la esencia normativa de estos países, así como las acciones realizadas por estos para promover la aplicación de este instrumento de gestión que cumple un rol vital en la preservación del recurso hídrico.

1.2.1. Chile

El país sureño presenta el Código de Aguas; en su artículo 129 bis1, señala que al constituirse los derechos para el aprovechamiento de agua, la Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente; debiendo para ello establecer un valor de Caudal Ecológico mínimo, el cual afectará solo a los nuevos derechos que se constituyan, para lo cual será necesario además considerar las condiciones naturales pertinentes para cada fuente superficial (Dirección General de Aguas de Chile, 2009). Por otro lado, el Reglamento para la determinación de Caudal Ecológico, aprobado mediante Decreto N°014 del Ministerio de Ambiente (modificado el 15 de enero de 2015), establece una serie de diferentes criterios para poder establecer el valor del Caudal Ecológico mínimo, dependiendo de las restricciones y variaciones que se presenten mes a mes, en los cauces e incluso se aplicará para cuerpos de agua como lagos y lagunas.

El cálculo se realizará utilizando información estadística hidrológica de al menos 25 años, dependiendo de la estadística con la cual se cuente en el cauce, y en el evento de contar con una estadística de mayor extensión, se preferirá esta última. De no existir la estadística necesaria para una fuente determinada, la Dirección General de Aguas utilizará el método hidrológico que considere, sea el más adecuado de aplicar al caso en concreto, lo que además deberá de quedar claramente sustentado en el informe técnico a elaborar (Dirección General de Aguas de Chile, 2009).

1.2.2. Ecuador

La Constitución de Ecuador señala en su capítulo 5, sobre Sectores Estratégicos, Servicios y Empresas Públicas, Artículo 318, que “El Estado a través de la autoridad única del agua será responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación”; lo mencionado anteriormente nos muestra un caso en el que el caudal ecológico está incluida en la Carta Magna de un país (Secretaría del Agua, 2014). Sin embargo, a pesar de contar con un importante respaldo al estar señalada en la constitución del país, aún no se conocen cuáles son los avances alcanzados (o por lo menos los planteados) para la determinación y/o

cálculo de los Caudales Ecológicos ni casos puestos en práctica para la realidad del país y en aquellas industrias que hacen uso de este importante recurso (SENAGUA, 2014).

1.2.3. México

Este constituye otro país latinoamericano que presenta dentro de su Legislación el concepto de Caudal Ecológico. La Ley de Aguas Nacionales, establece el concepto de “Uso Ambiental” o “Uso para Conservación Ecológica” como el caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema; en otras palabras, dicha definición hace referencia al Caudal Ecológico (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1996).

El 20 de septiembre de 2012 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en sus cuencas hidrológicas. Esta norma introduce una clasificación de objetivos ambientales a ser alcanzados para cada una de las cuencas del país y propone, sin ser de carácter limitativo, algunos métodos de cálculo, tales como el método hidrológico, simulación de hábitat y holístico. De esta manera, el país muestra su compromiso por el desarrollo de este instrumento de gestión ambiental y la aplicación en sus industrias.

1.2.4. Comunidad Europea

Mediante la Directiva 2000/60/CE y posteriores enmiendas, la Comunidad Europea establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, la cual tiene varios objetivos establecidos: Concretamente la prevención y reducción de la contaminación, la promoción del uso sostenible del agua, la protección del medio ambiente, la mejora de la situación de los ecosistemas acuáticos y la atenuación de los efectos de las inundaciones y sequías (Parlamento y Consejo Europeo, 2000).

Si bien es cierto, a lo largo del texto no se menciona de manera explícita el concepto de caudal ecológico o ambiental, sí son explícitos los objetivos de conservación ambiental (como lo indica el artículo 4°), donde se señala que los Estados miembros protegerán y mejorarán todas las masas de agua artificiales; con el objeto de lograr un buen potencial ecológico y un buen estado químico de las aguas superficiales a más tardar quince años después de la entrada en vigor de la presente Directiva.

En este marco, los países miembros de la Comunidad Europea cuentan no solo con metas, sino también con plazos para implementar las acciones señaladas en la Directivas, las que involucran la protección, mejoramiento y regeneración de las masas de agua no solo para alcanzar un buen estado de las aguas, sino también para proteger a los ecosistemas.

1.2.5. Australia

Los estados firmantes de la Ley de Aguas (Water Act 2007), deben de asegurar que cualquier autoridad que otorgue licencias dentro del Estado tome en consideración cada cierto tiempo las políticas adoptadas por el Consejo de Ministros, entre otras, relacionados a la gestión de caudales ambientales (Australian Competition and Consumer Commission, 2007).

En lo que respecta a su cálculo y/o determinación, se han elaborado métodos, como *The FLOWS Method*, desarrollado entre el estado de Victoria para determinar así requerimientos ambientales de agua en dicho estado. También se puede encontrar la *Water Resources Environmental Flows Guidelines*, elaborado para la Australian Capital Territory o el *Tasmanian Environmental Flows Framework* para el estado de Tasmania.

En síntesis, todos estos trabajos recogen los resultados de años de investigaciones y mejoras en la concientización de los ecosistemas en los diferentes ríos australianos; este resultado explica la basta bibliografía que se puede encontrar respecto a estudios desarrollados en los diferentes estados donde se han llevado a cabo evaluaciones de los caudales ambientales en sus ríos. Este país se caracteriza dado que tanto la industria como la academia han trabajado de la mano en las últimas décadas con la finalidad de maximizar la capacidad de producción de sus industrias; pero a la vez, preservando y cuidando el medio ambiente a través de una legislación que lo permite y con el cumplimiento de los más altos estándares de calidad ambiental a nivel internacional.

1.2.6. Perú

En el Perú se cuenta con la Ley De Recursos Hídricos N° 29338, la cual es la norma principal que rige el manejo y gestión del agua en el país. Compuesta de 11 Títulos, enuncia en su artículo segundo: *“La presente Ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como los bienes asociados a esta”* (Ministerio de Energía y Minas, 2010).

El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010-AG, sí indica en el Artículo N° 153, Numeral 153.1 que 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”* (Ministerio de Energía y Minas, 2010). En los siguientes numerales también se menciona este concepto:

- Numeral 153.3: *“Los caudales ecológicos se mantienen permanentemente en su fuente natural, constituyendo una redistribución que se impone con carácter general a todos los*

usuarios de la cuenca, quienes no podrán aprovecharlos bajo ninguna modalidad para un uso consuntivo.” [1]

- Numeral 153.4: *“En caso de emergencia de recursos hídricos, por escasez, se priorizará el uso poblacional sobre los caudales ecológicos”. [2]*

[1] y [2] Fuente: Reglamento de Recursos Hídricos. D.S. N°001-2010-A.G., artículo N°153, Numeral 153.1

En lo que respecta a su cálculo, solo se menciona en el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos; no se determina ni configura metodología alguna para su determinación. Por el contrario, el Artículo N° 155 establece que el ANA, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y demás autoridades sectoriales competentes serán los encargados de diseñar la metodología necesaria, en función a las particularidades de cada curso o cuerpo de agua y a los objetivos específicos a ser alcanzados. Es decir, se delega en otros organismos la definición, determinación, y alcance; con lo cual la autoridad máxima y rectora del agua tampoco resuelve el complejo problema del Caudal Ecológico.

En conclusión, podemos afirmar que se aprecian varios vacíos en la legislación peruana respecto a este instrumento de gestión del recurso hídrico. No se tiene un consenso único dentro del territorio de lo que específicamente aborda este concepto, como obtenerlo en la realidad del entorno peruano ni mucho menos objetivos trazables que permitan apreciar una cultura de concientización del uso adecuado y racional del agua con miras a tomar acciones frente al cambio climático. Por lo tanto, el ANA, debe resolver la cuestión del caudal ecológico por ser de carácter prioritario y urgente.

1.3. Objetivos

El presente trabajo de investigación tiene como principales objetivos:

1.3.1. Objetivo General

Determinar el Régimen de Caudal Ecológico en la Cuenca del río Santa (departamento de Ancash), aplicando la metodología de Tennant Montana.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la situación actual del Caudal Ecológico de la cuenca en el río Santa.
- Determinar el impacto (consumo) de la actividad minera en la cuenca del río Santa.
- Revisar y evaluar el método de Tennant para el cálculo del caudal ecológico y su potencial aplicación en el Perú.
- Analizar los resultados obtenidos, brindando explicaciones conceptuales sobre futuros trabajos de investigación que complementen el presente estudio.

1.4. Hipótesis

La actividad minera puede realizar sus operaciones en territorios cercanos y/o próximos a cuerpos o fuentes de agua, en este caso en particular, el río Santa; y desarrollar sus actividades operativas sin contaminar el medio acuático, sin poner en peligro el ecosistema presente en la región y permitiendo una distribución (volumen) que permita satisfacer las necesidades de las otras actividades económicas propias de la región estudiada.

Se buscará responder a la pregunta:

¿Puede continuar la actividad minera desarrollándose en las áreas de influencia directa cercanas a la cuenca del río Santa sin poner en peligro el equilibrio del ecosistema y a la vez propiciar el desarrollo del resto de actividades económicas propias de la región Ancash?



2. MARCO TEÓRICO

2.1. Situación Hídrica en el Perú

El Perú cuenta con 159 cuencas hidrográficas, por las que escurren 1'768,172 millones de metros cúbicos (MMC) de agua al año, esto posiciona al Perú como el octavo país en el mundo con mayor presencia y riqueza de agua. Adicionalmente, podríamos tomar en cuenta que, a nivel regional, América del Sur cuenta con la quinta parte del agua en el mundo (20.9%), esto en base a un balance hídrico realizado por la UNESCO (ANA, 2010).

Nuestro país cuenta con tres vertientes hidrográficas:

- la del Atlántico (ocupando el 74.6% del territorio nacional con 84 cuencas que genera el 97.26% de los recursos hídricos)
- la del Pacífico (la cual ocupa el 21.8% del territorio nacional y cuenta con 62 cuencas, las cuales generan el 2.18% de los recursos hídricos en el país)
- la del Titicaca (la cual ocupa el 3.6% del territorio nacional con un total de 13 cuencas, que generan el 0.56% de los recursos hídricos en el país).

Estas 3 vertientes, son las que abastecen el recurso hídrico al Perú (Ministerio de Agricultura y Autoridad Nacional del Agua: Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, 2013).

Tabla 1: Disponibilidad Hidrológica por Cada Vertiente

Distribución Hídrica	Distribución Hídrica					Distribución Hídrica por Población (m ³ /hab/año)
	Aguas Superficiales		Aguas Subterráneas	Total		
	MMC	(%)	(MMC)	MMC	(%)	
Pacífico	35,632	2.02	2,849	38,481	2.18	2,067*
Amazonas	1'719,814	97.42	Sin datos	1'719,814	97.26	198,121*
Titicaca	9,877	0.56	Sin datos	9,877	0.56	10,735*
TOTAL	1'765,323	100.00	2,849	1'768,172	100.00	62,655

(*) sobre umbral de desarrollo como promedio de las vertientes.

Fuente: Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. ANA, 2013

2.1.1. Principales Fuentes de Agua en el Perú

El Perú cuenta con cuatro principales fuentes de agua: glaciares, lagos y lagunas, ríos y acuíferos. En la **Tabla 2** podremos observar la distribución de cada fuente de agua según la vertiente de la que proceden.

Tabla 2: Distribución de Fuentes de Agua

Tipo de Fuente	Número
Glaciares	3,044 glaciares que cubren 2,041 km ² <ul style="list-style-type: none"> • Pacífico: 1,229 glaciares (878 km²) • Amazonas: 1,824 glaciares (1113 km²) • Titicaca: 91 glaciares (50 km²)
Lagos y Lagunas	12,201 <ul style="list-style-type: none"> • 3,896 Pacífico • 7,441 Amazonas • 841 Titicaca • 23 en cuencas cerradas
Ríos	1,007
Acuíferos	<ul style="list-style-type: none"> • Vertiente del Pacífico: 2,700 Hm³ (reserva explotable) • Vertientes del Atlántico y Titicaca (no están determinados)

Fuente: Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. ANA, 2013

2.1.2. Gestión del recurso hídrico en el Perú

La geografía del territorio peruano ha demostrado ser de una gran complejidad, y con las 159 cuencas en el país, cada una de estas ha demostrado tener singularidades y necesidades de gestión de recursos hídricos; es por ello por lo que según la Ley de Recursos Hídricos (Ley N°29338), capítulo II, artículo 14, se crea a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) como el ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (Ley N°29338, 2009)

El ANA, bajo el enfoque de planificación y gestión territorial ha logrado agrupar la gestión y administración de las 159 unidades hidrográficas en 72 oficinas de Administración Local del Agua (ALA); las que a su vez agrupan un total de 14 Autoridades Administrativas del Agua (AAA), como instancias superiores de administración de recursos hídricos. Todos estos se constituyen en órganos desconcentrados del ANA, entidad que ejerce jurisdicción administrativa única en el ámbito nacional (ANA, 2012).

El Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos (SNGRH), es el conjunto de instituciones, principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos mediante los cuales el Estado desarrolla y asegura la gestión integrada, participativa y multisectorial, el aprovechamiento sostenible, la conservación, la preservación de la calidad y el incremento de los recursos hídricos, que tiene como objeto articular el accionar del Estado; para conducir los procesos de gestión integrada y de conservación de los recursos hídricos en los ámbitos de cuenca, de los ecosistemas que lo conforman y de los bienes asociados. Así como para

establecer espacios de coordinación y concertación entre las entidades de la administración pública y los actores involucrados en dicha gestión con arreglo de la Ley de Recursos Hídricos (ANA, 2012).

Podemos listar las catorce oficinas de las AAA:

Tabla 3: Listado de Autoridades Administrativas del Agua (ANA)

N°	AAA
I	CAPLINA - OCOCA
II	CHISPARRA - CHINCHA
III	CACETE - FORTALEZA
IV	HUARMEY - CHICAMA
V	JEQUETEPEQUE - ZARUMILLA
VI	MARAÑÓN
VII	AMAZONAS
VIII	HUALLAGA
IX	UCAYALI
X	MANTARO
XI	PAMPAS - APURÍMAC
XII	URUBAMBA
XIII	MADRE DE DIOS
XIV	TITICACA

Fuente: El Agua en Cifras. ANA, 2010

Asimismo, podemos apreciar la distribución de las AAA en el siguiente mapa:



Figura 1: Distribución de las 14 AAA a nivel regional

Fuente: El Agua en Cifras. ANA, 2010

2.1.3. Ejes de Políticas y Estrategias de la Autoridad Nacional del Agua

El ANA busca alcanzar la gestión integrada de los recursos hídricos en el ámbito nacional que permita satisfacer las demandas presentes y futuras; así como garantizar la conservación, calidad y disponibilidad del recurso hídrico y su aprovechamiento eficiente y sostenible; con criterios de equidad social, económico ambiental; con la participación de los tres niveles de gobierno, del sector público y privado, de los actores sociales organizados de la sociedad civil y de las comunidades campesinas y comunidades nativas contribuyendo a la cultura del agua y al desarrollo del país con una visión de inclusión social y desarrollo sostenible (ANA, 2012).

En relación con el objetivo general del ANA, y en busca del equilibrio entre demanda social, económica y poblacional, el ANA ha decidido centrar su trabajo en base a cinco grandes ejes que definen la política de trabajo de la máxima autoridad rectora del recurso hídrico:

A) Eje Político 1: Gestión de la Cantidad

A través de este primer punto de giro, se busca conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de los recursos hídricos para el país, y así promover el uso eficiente de estos. Ello con el fin de establecer un equilibrio de balance entre la oferta y la demanda de recursos hídricos armonizados a los múltiples usos del agua (ANA, 2012):

Este principal eje de trabajo cuenta con tres estrategias de intervención que permitirán alcanzar el objetivo general:

1. *Conservar las fuentes naturales de los recursos hídricos en el país*; lo cual implica normar y regular la conservación, protección y planificación de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica.
2. *Evaluar la oferta, disponibilidad y demanda de los recursos hídricos en el país*: Inventar y evaluar los ecosistemas proveedores de agua, determinando la oferta y disponibilidad hídrica, así como la distribución espacial y temporal por cuenca hidrográfica.
3. *Fomentar el uso eficiente y sostenible del agua*: Evaluar y establecer los parámetros de eficiencia, aplicable al aprovechamiento de los recursos hídricos por tipo de uso; así como fomentar la investigación para el uso eficiente del agua.

B) Eje Político 2: Gestión de la Calidad

Promover la protección y recuperación de la calidad de los recursos hídricos en las fuentes naturales de los ecosistemas relacionados a los procesos hidrológicos (ANA, 2012).

Este segundo eje de trabajo cuenta con dos estrategias de intervención:

1. *Fortalecer las acciones sectoriales y multisectoriales en materia de gestión de la protección del agua*. El ANA busca integrar y articular la normatividad sectorial y multisectorial para su cumplimiento en materia de calidad de agua, promoviendo estándares máximos de calidad de agua y límites máximos permisibles en los diversos efluentes.
2. *Mantener y/o mejorar la calidad del agua en las fuentes naturales continentales y marítimas y en sus bienes asociados*. Este objetivo se plantea alcanzar en base a la formulación e implementación de planes y programas para el mejoramiento de la calidad del agua en las unidades hidrográficas y marino costeras.

C) Eje Político 3: Gestión de la Oportunidad

Atender de manera oportuna la demanda de recursos hídricos, respetando el principio de seguridad jurídica, mejorando su distribución inclusiva, temporal y espacial; promoviendo el acceso universal al agua (ANA, 2012).

Las cinco estrategias de intervención que se plantean son:

1. *Implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca.*
2. *Promover e implementar la gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas transfronterizas.* Ello en base a la formulación de planes binacionales para la gestión de recursos hídricos en zonas de frontera.
3. *Promover la formalización del otorgamiento de los derechos de uso de aguas permanentes y estacionales.* Se debe buscar formalizar el otorgamiento de los derechos de uso de agua superficial subterránea y los provenientes de la desalación de agua de mar para usos poblacionales y productivos.
4. *Promover inversiones públicas y privadas para el desarrollo de infraestructura hidráulica.*
5. *Desarrollar el régimen económico por uso de agua y vertimiento de aguas residuales tratadas, para mejorar la gestión integrada de los recursos hídricos.*

D) Eje Político 4: Gestión de la Cultura del Agua

Promover una cultura de agua para la gestión eficiente y valoración de los recursos hídricos (ANA, 2012). Las cuatro estrategias de intervención son:

1. *Implementar el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos.*
2. *Implementar el Sistema Nacional de Información de los Recursos Hídricos;* esto con el fin de lograr un intercambio de información entre los actores involucrados en la gestión de los recursos hídricos, en todos los niveles sectoriales permanentes.
3. *Promover la gestión del conocimiento y cultura del agua orientada al aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos.* Ello a través de la promoción de investigaciones sobre conocimiento y cultura del agua orientada al aprovechamiento de los recursos hídricos.
4. *Prevenir y gestionar las controversias relacionadas con los recursos hídricos:* Promover la conformación de espacios de dialogo entre los actores vinculados a la gestión del agua.

E) Eje Político 5: Adaptación al Cambio Climático y Efectos Extremos

Ante los impactos actuales y futuros del cambio climático en los recursos hídricos, reducir la vulnerabilidad de la población, actividades económicas y ecosistemas bajo el enfoque de la gestión integrada de los recursos hídricos y de gestión de riesgos de desastres (ANA, 2012).

Se plantean tres estrategias de intervención para poder sostener lo enunciado en el párrafo anterior:

1. *Fomentar la investigación científica y aplicada, el desarrollo de capacidades y la difusión de conocimientos para la adaptación al cambio climático y la gestión de riesgos de desastres en la gestión de los recursos hídricos:* Para ello, se debe fomentar la investigación sobre el comportamiento de eventos extremos de origen glaciar y climático en cuencas glaciares sensibles ante el cambio climático.
2. *Articular políticas, normatividad y procesos de planeamiento para la adaptación al cambio climático y gestión de riesgos de desastres en los recursos hídricos en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y Sistema Nacional de Riesgos de Desastres.*

3. *Promover medidas y mecanismos de adaptación en la oferta, demanda y usos recursos hídricos frente a los impactos actuales y futuros de cambio climático y riesgos de desastres:* Esto a través de la implementación de medidas de adaptación en las diferentes demandas y usos del agua para garantizar la seguridad hídrica en el escenario de cambio climático actual y futuro.

2.2. Caudal Ecológico: Definiciones Clave

2.2.1. Caudal

Término utilizado en el campo de la hidrología para determinar la cantidad de agua que pasa o circula a través de una sección transversal del río para un periodo determinado de tiempo. De manera convencional ha venido definiéndose con la siguiente expresión.

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = A (m^2) * V \left(\frac{m}{s} \right) \dots\dots (1)$$

Donde “Q” es el caudal o gasto expresado en metros cúbicos por segundo (m³/segundo), aunque también es aceptada el valor en litros/segundo. La “V” representa el valor medio de la velocidad que circula a través del área específica estudiada y que se expresa en m/s o litros/segundo. Finalmente, el “A”, representa al área de la sección transversal por el cual el flujo discurre, en este caso, para el análisis de ríos, este valor será el ancho del río, valor que presenta como unidad al metro cuadrado (m²).

Como se puede apreciar, la fórmula matemática resulta muy simple de comprender; sin embargo, el caudal de un curso de agua natural es mucho más irregular y difícil de hallar; esto debido a los márgenes por error en las mediciones debido a variaciones del cauce generados por la dinámica fluvial. Es por ello que se recurre a aproximaciones para poder determinar los márgenes de error, como es el caso del modelamiento del comportamiento de un río mediante software hidrológico. Un ejemplo de modelamiento a través de un software se puede apreciar en la **Figura 2**, en esta figura se muestra como la herramienta tecnológica permite estimar las diferentes áreas, así como expresar a través de un vector la velocidad del caudal.

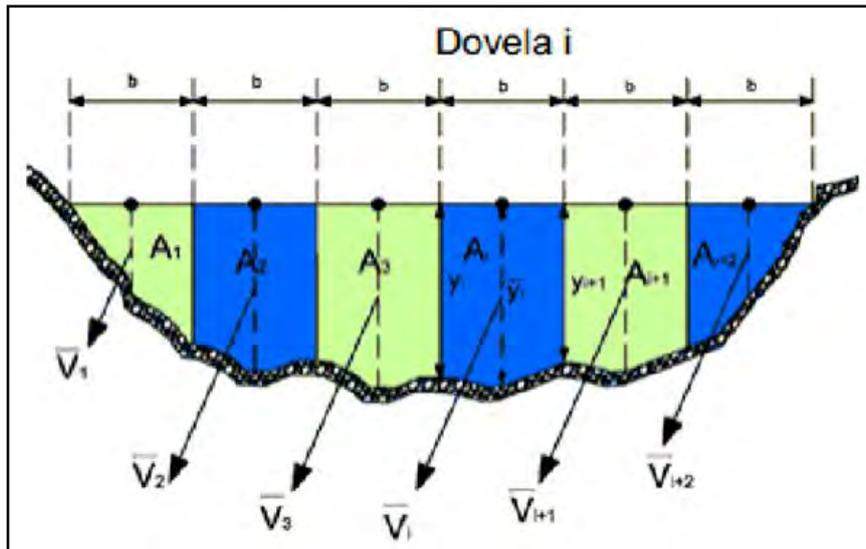


Figura 2: Sección transversal de aforos en un río modelo
 Fuente: Metodología para la medición de velocidad de flujo en un río,
 Instituto Mexicano del Transporte (IMT), 2012

Conocer el régimen fluvial de un determinado río no solo requiere de la instalación de estaciones de monitoreo y mediciones puntuales; sino también de mediciones periódicas (diarias, semanales, mensuales, semestrales y anuales) todas registradas a la misma hora en distintos puntos del río estudiado por un número posible de años. Toda esta información permitirá obtener la gráfica de una curva de caudales (o curva de gastos) de la cual se obtienen por cálculos los valores medios diarios, semanales, mensuales, semestrales, anuales e incluso interanuales. Se muestra en la **Figura 3** el consumo o caudal de un río de manera ilustrativa.

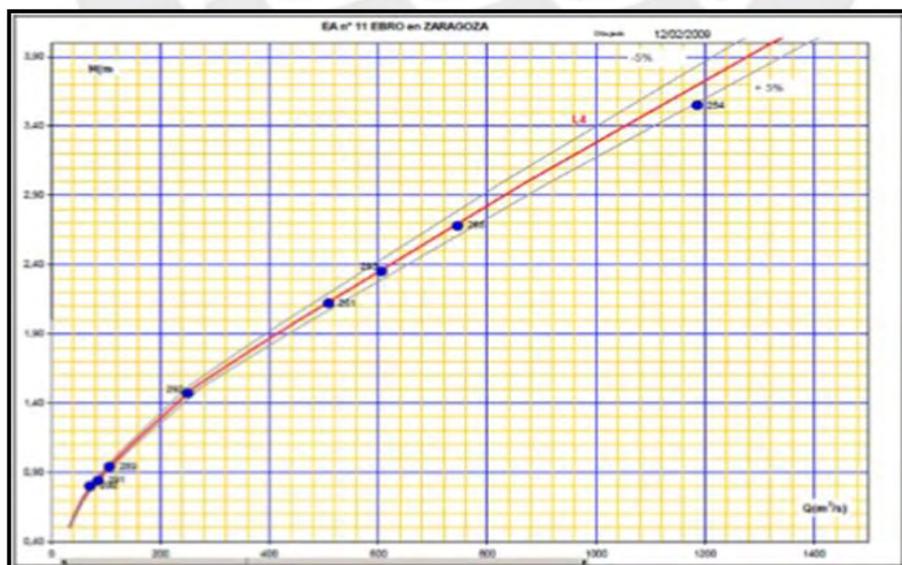


Figura 3: Curvas de gastos típicos en un río modelo
 Fuente: Curvas de Gastos, Determinación y Variación Temporal. Moreno, L., 2010

2.2.2. Recurso Hídrico

Los Recursos Hídricos son todos aquellos cuerpos o masas de agua que existen en el planeta; desde los lagos y lagunas, pasando por los arroyos, ríos, humedales y llegando hasta los propios océanos. Estos recursos deben de preservarse y ser utilizados de forma racional y medida ya que son indispensables para el desarrollo de la existencia de los seres vivos en el planeta. Estos recursos proveen de servicios y bienes al ser humano ya que forman parte de los diferentes procesos económicos que constituyen las actividades del hombre (Perales, 2010).

El principal problema que afrontan hoy en día los recursos hídricos es la sobreexplotación, contaminación y el uso indiscriminado e irracional que se les da, los cuales son productos de diversas actividades humanas que ocasionan que estos recursos se encuentren en riesgo. Su capacidad de regeneración muchas veces no resulta eficiente ante el excesivo ritmo de consumo. A esto se debe sumar el hecho de que el 97% del agua de la Tierra es salada, lo cual encarece su tratamiento para consumo humano, dejando al hombre con solo un 3% disponible (Villanueva, 2011).

El calentamiento global favorece la depredación más rápida de los recursos hídricos.



*Figura 4: Vista aérea de la cuenca del río Santa
Fuente: Diagnóstico sobre Caudales Ecológico en el Perú. ANA, 2015*

2.2.3. Gestión del Agua

La Gestión del Agua hace referencia a toda aquella actividad dirigida a optimizar los usos del recurso hídrico, buscando además superar los efectos negativos generados por una desigual distribución del agua para la población. En la actualidad se aspira a que el Estado, los

usuarios y la sociedad en su conjunto maximicen los beneficios del uso y/o aprovechamiento del recurso hídrico sin generar conflictos críticos.

En el caso del Perú, las condiciones del manejo adecuado y gestión del agua han sido extremo difíciles y ha constituido tradicionalmente un desafío particular para el desarrollo de las diferentes actividades económicas del país, como lo son la ganadería, la agricultura y con más frecuencia hoy en día, también la minería. En la costa, el uso y riego del agua alude a aspectos técnicos, culturales, sociales e incluso políticos, pero el principal problema radica en su disponibilidad, lo cual incrementa la complejidad del problema.

Por otro lado, en las comunidades campesinas de la sierra, el manejo del agua constituye una de las bases de la organización social andina y está influida por factores tradicionales, culturales y de la cosmovisión andina. Estas comunidades utilizan el riego para sus cultivos y ganados que resultan siendo su fuente de ingreso.

El objetivo del manejo de agua debe de ser único, para ello se debe apuntar a un equilibrio entre el “Estado Ecológico” y la “Presión de Uso de agua”; mientras que el primer concepto es de índole medio ambiental y busca preservar el régimen hidrológico; el segundo, velará por la demanda de agua económica; población, hidroeléctrica, uso doméstico, entre otros fines. La **Figura 5** esquematiza la idea presentada anteriormente.

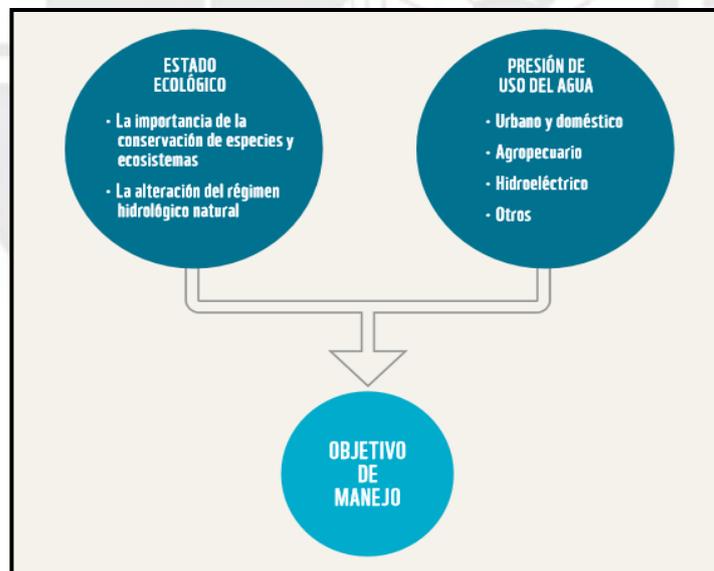


Figura 5: Diagrama de distribución y gestión del agua para su manejo adecuado
Fuente: CAUDAL ECOLÓGICO: Salud para el ambiente, agua para la gente. WWF, 2010

2.2.4. Metodología

La metodología de investigación se define como una disciplina del conocimiento encargada de elaborar, definir y sistematizar el conjunto de técnicas, métodos y procedimientos que se

deben seguir en un determinado orden durante el proceso de desarrollo de una investigación para la producción del conocimiento.

La metodología orienta la manera en la que vamos a enfocar el trabajo de investigación y la forma en que vamos a analizar, recolectar y clasificar los datos, con el fin supremo de que nuestros resultados obtengan validez y pertinencia; y, sobre todo, cumplan con los estándares propios de la investigación científica. En ese sentido, la metodología de investigación conforma una parte de los proyectos de investigación donde se exponen y describen razonadamente los criterios adoptados en la elección de la metodología, sea cuantitativa o cualitativa (Cegarra, 2004).

Para el presente trabajo se aplicó la Metodología Cuantitativa, aquella que es válida en las ciencias naturales o fácticas, que se vale en datos e información cuantificable, los cuales se obtienen a través de medición, observación, cuantificación y registros. Para su análisis, procede mediante la utilización de la estadística, la identificación de variables y patrones constantes. Orientados a un método de razonamiento deductivo, por lo cual se trabaja con base en una muestra representativa del universo estudiado (Cegarra, 2004).

2.3. Caudal Ecológico

Existen diversas y múltiples definiciones sobre el concepto de Caudal Ecológico, y también ha habido una evolución de estos conceptos a lo largo del tiempo. Estos cambios se han ido dando a medida que han evolucionado los enfoques y la comprensión de la relación entre el caudal de los ríos y sus ecosistemas o de los servicios y bienes ambientales que proveen a la sociedad.

Este término es definido de diferentes formas dependiendo de factores como la legislación y el país en que se encuentre. Es evidente que se tiene países con un mayor avance y desarrollo en el alcance y metodología que implica este concepto, como se detalló en la sección de Antecedentes Internacionales del capítulo I.

Una definición bastante extendida, y quizás la que engloba en mayor escala su contenido nos remite al caudal ecológico como el caudal mínimo de agua que es necesario dejar en el río, aguas debajo de una bocatoma, represa, otra obra de infraestructura o intervención en su cauce, para garantizar la conservación de los ecosistemas que alberga, mantener su geomorfología y comportamiento hidráulico y permitir que el caudal remanente siga cumpliendo sus funciones y servicios fluviales, como flujo de dilución, navegación y aportes hídricos en general (Universidad Nacional Agraria La Molina, Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto Chincas – Primera Etapa, 1996)

A continuación, se muestran una definición en particular de Caudal Ecológico:

“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 cultural, ambiental o científico” (Rojas, 2011).

Es fundamental mencionar que las corrientes actuales han avanzado hacia el concepto de “caudales ambientales”, un concepto que es más amplio que el caudal ecológico; pero que sin embargo comparte la esencia del primero.

A continuación, se presenta otra definición de caudal ambiental:

“Régimen hídrico que se da en un río, humedal o zona costera para mantener ecosistemas y sus beneficios donde se dan utilizations del agua que compiten entre sí y donde los caudales se regulan, Los caudales ambientales contribuyen de manera decisiva a la salud de los ríos, al desarrollo económico y a aliviar la pobreza. Garantizan la disponibilidad constante de los muchos beneficios que aportan a la sociedad los ríos y los sistemas de aguas subterráneas sanos” (UICN, 2011).

Y con ambas definiciones podemos observar la evolución de los conceptos, donde se ha optado por una perspectiva asociada a las especies que habitan un río en particular y los recursos y beneficios que proveen al hombre. Con lo enunciado anteriormente, queda claro que en la actualidad no existe uniformidad de criterios para definir el caudal ecológico y sus connotaciones; así como tampoco existe una metodología que sea aceptada como única para poder determinarlo.

Algunas veces es un tanto exagerado “ampliar” sus alcances, como cuando se afirma que el caudal ecológico debe cumplir también con la función de “mantenimiento del paisaje”. Es por ello importante plantearse: ¿Puede ser eso posible con un valor de caudal mínimo? ¿Es posible cuantificar el impacto sobre el paisaje? Muchos autores estudiados afirman que por el momento no es posible. Es evidente que el concepto estudiado no podría abordar esta pregunta pues no reflejan para nada la variabilidad de caudales a lo largo de un periodo climático, además de estar generalmente por debajo del umbral mínimo del caudal mínimo a lo largo del curso del río.

Sin embargo, en base a la bibliografía revisada se podrá presentar una definición precisa y breve de lo que implica el concepto de Caudal Ecológico, sin afectar la esencia original que abarca este instrumento.

En este sentido se define al *Caudal Ecológico* en ríos como un instrumento de gestión que permite acordar un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos, el cual permitirá establecer la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener y

asegurar los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan un hábitat para determinadas especies, así como bienes y servicios a la sociedad. Este valor de caudal concilia la demanda económica, social y ambiental del agua, y reconoce que únicamente conservando el agua que estos cuerpos necesitan se podrá garantizar su provisión futura y perduración en el tiempo.

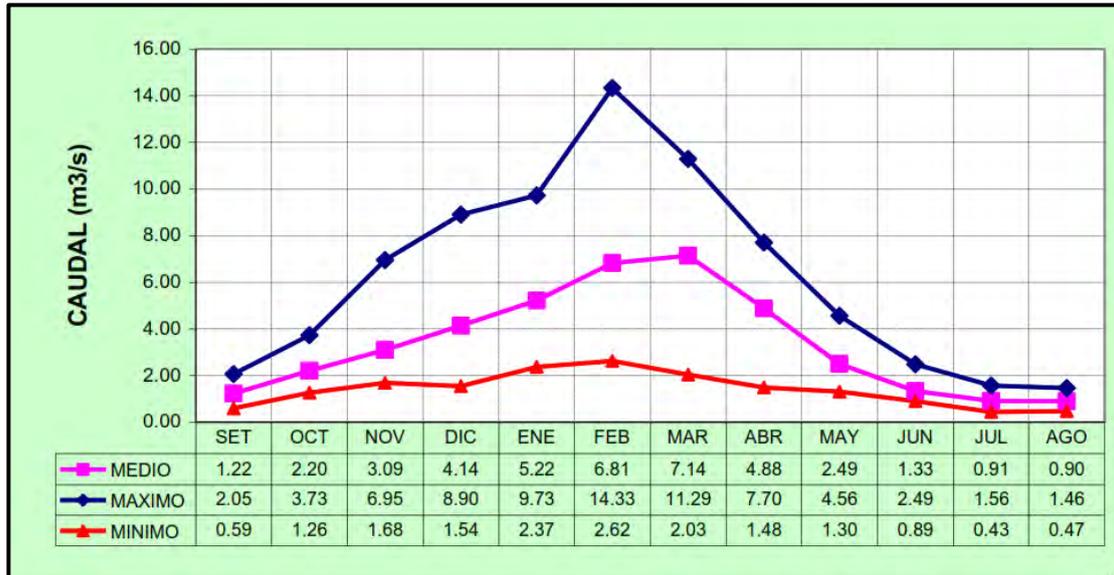


Figura 6: Caudal medio, máximo y mínimo de la subcuenca Yunayacu

Fuente: Recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica, en las cuencas alta, media y baja de los ríos Fortaleza y Santa, en las provincias de Recuay y Bolognesi – Región Ancash. Mancomunidad Municipal del Valle Fortaleza y Santa, 2017.

La **Figura 6** muestra parte del resultado parcial que se desea obtener en el presente trabajo. Esto es, el trazo de aquella curva que indique el valor de caudal real que circula, así como la curva de Caudal Ecológico, para así determinar el consumo y si existe un potencial daño para el ecosistema y el resto de las actividades económicas (Mancomunidad Municipal del Valle y Fortaleza Santa, 2017).

2.4. Revisión de Métodos

En la actualidad no existe una metodología única y exclusiva para determinar el valor del Caudal Ecológico. Los distintos gobiernos poseen la soberanía para desarrollar metodologías que permitan conocer cuál es el valor mínimo que se debe respetar para no perjudicar el hábitat que posee un río. En algunos casos, los llamados países “eco-friendly”, son las empresas que trabajan en conjunto con la academia para definir métodos para ríos.

En la actualidad existe más de 200 metodologías diferentes aplicadas en 44 países alrededor del mundo (Tharme, 2003), los cuales pueden ser divididos en cuatro grandes categorías.

1. Métodos Hidrológicos
2. Metodología de Variación Hidráulica
3. Metodología de Simulación de Hábitat
4. Metodología Holística

Algunos de los métodos mencionados se consideran de aplicación rápida y directa, que no exigen trabajo adicional o lo necesitan mínimamente; mientras que existen otros métodos que, por el contrario, requieren años de trabajo de campo y especialistas en distintas disciplinas. El conjunto de metodologías involucra desde procedimientos hasta el uso de herramientas computacionales; utilizando información hidrológica, biológica, hidráulica, geomorfológica y componentes sociales y económicos (Izquierdo, 2013).

A continuación, se procederá a detallar de manera precisa y breve, el alcance y características de cada una de estas metodologías.

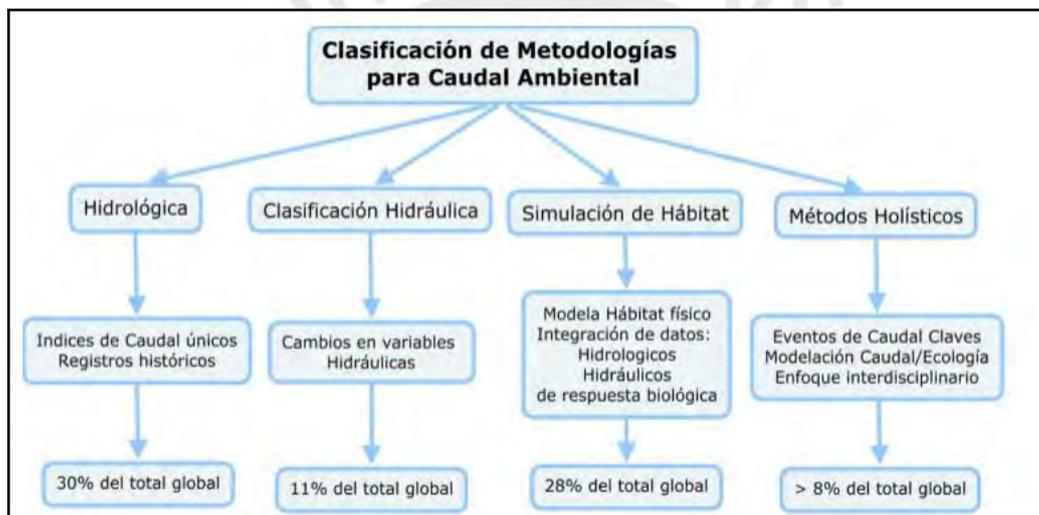


Figura 7: Clasificación de las metodologías que estiman el Caudal Ecológico
Fuente: Environmental Flow assessment in Aisa, capitalizing in on existing momentum. Tharmer, 2003

2.4.1. Métodos Hidrológicos

A esta clasificación corresponde todos aquellos métodos basados en registros históricos, los cuales consisten en obtener de forma rápida los valores de caudal, si se cuenta con buenos recursos limnimétricos del tramo de estudio. La ventaja principal de este método es que no requiere de trabajos específicos en campo y en su utilización se asume que los caudales medios permiten el mantenimiento adecuado de las comunidades acuáticas.

De manera sencilla se puede resumir que esta metodología considera que el Caudal Ecológico se puede determinar a partir de antecedentes hidrológicos registrados, como los caudales promedios, mensuales, diarios, temporales, diarios y diferentes registros.

2.4.4.1. Método del Caudal Básico de Mantenimiento

Este método fue propuesto por Antoni Palau en 1994. Está basado en el estudio de registros de caudales medios diarios con la aplicación de medias móviles a lo largo de las series. El parámetro fundamental del método es el caudal básico (Q_b), definido como el caudal mínimo absoluto a mantener en el cauce.

El Q_b se calcula independientemente para cada año de la serie, mediante variables de centralización móviles aplicadas a intervalos crecientes de datos consecutivos (caudales medios diarios) de orden entre uno y 100, con los cuales se obtiene un vector de mínimos con las mismas componentes que el número de medias aplicado (Palau, 2004). Luego de obtener el vector de mínimos, se calculan los incrementos relativos de cada par de valores, estableciéndose el caudal básico para cada año como el caudal que determina el mayor incremento relativo (Palau A, 1994).

El caudal básico final se calcula como la media aritmética de los caudales básicos anuales obtenidos para cada año de estudio (Hernández et al., 2010).

2.4.4.2. Método de Tennant o Método de Montana

Método desarrollado por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (US Fish and Wildlife Service). Esta metodología permite calcular los caudales con base en los promedios anuales de los registros hidrométricos de por lo menos 10 años anteriores a los impactos recibidos por el río. Considera factores como la profundidad, la velocidad de la corriente y el ancho del cauce a nivel de la superficie libre del agua son variables fundamentales en el desarrollo de los organismos acuáticos y el buen estado de su hábitat (Tennant, 1976).

El empleo de gastos fluviales comprendidos entre el 30% y 60% del gasto medio anual lo considera dentro de los criterios cualitativos para la determinación de los caudales ecológicos como buen y óptimo para el desarrollo de organismos acuáticos, aunque se acordó por la comunidad internacional como el método que establecía el 10% como mínimo (Bernuy, 2019). Además, se concluyó que un 30% de caudal medio creaba un hábitat con la calidad suficiente que permitiría la supervivencia de las formas de vida; mientras que para aquellos valores superiores o iguales al 60%, se espera que el cauce estuviera cubierto con agua, incluyendo las zonas poco profundas y que permitiría que la ribera sirviera como refugio para los peces. Se concluye finalmente que un caudal de 60% o más, crearía condiciones de hábitat excelentes (Tennant, 1976).

2.4.4.3. Método de la Curva de Excedencia

Consiste en la construcción de una curva, a partir de los datos de caudales diarios, mensuales o anuales, donde se presenta la relación entre los rangos de caudal con el porcentaje de tiempo que cada caudal es igualado o excedido. Este método permitirá, por ejemplo, determinar el caudal mínimo diario que es excedido durante 330 o 345 días en un año (Q_{330} o Q_{345}), que corresponden respectivamente al 90% y 95% del tiempo - considerando un total de 365 días (Endesa Chile, 2011).

2.4.2. Métodos Hidráulicos

Estos métodos se basan en encontrar la relación que existe entre i) el caudal de un río y ii) parámetros de la geometría hidráulica del cauce, tales como profundidad, velocidad, ancho, perímetro mojado (siendo este último el más utilizado). Esta metodología requerirá de por lo menos un par de perfiles topobatómicos para representar la sección crítica a evaluar o las secciones múltiples de los perfiles (Gippel & Stewardson, 1998).

El supuesto de este método plantea que, si se asegura un valor umbral del parámetro hidráulico seleccionado, se mantendrá la integridad de la biota o del ecosistema, en particular, la correspondiente a la producción primaria y secundaria. Sin embargo, incluso hoy en día, existe muy poca literatura que sustente o fundamente estas afirmaciones (Gippel & Stewardson, 1998).

La principal ventaja en este conjunto de metodologías radica en la facilidad de implementación y bajo costo de la información del terreno; por otro lado, posee una gran desventaja, la cual está relacionada con las limitaciones de su implementación. En un río con poco cauce, resultará difícil definir el punto de quiebre, de igual manera, la identificación del umbral mínimo será una tarea difícil de lograr.

2.4.2.1. Método del Perímetro Mojado

Este método considera que el perímetro mojado del cauce es un buen indicador de los limitantes de hábitat para el desarrollo de las especies.

La curva de variación del perímetro mojado en función del caudal permite identificar un punto de inflexión a partir del cual pequeñas variaciones de caudal se traducen en fuertes variaciones del perímetro mojado (Nelson, 1983). Este punto de inflexión es la curva obtenida a partir del perímetro mojado medio del tramo derivado del estudio de al menos 3 a 10 secciones transversales críticas (pudiendo incluso ser más). Sirve como criterio para determinar el caudal mínimo necesario que permita la perdurabilidad de especies y progreso de actividades económicas (Randolph, 1984).

Las curvas pueden ser desarrolladas aplicando un modelo de flujo uniforme a las secciones transversales o midiendo perímetros circulantes bajo distintos caudales circulantes. Sin embargo, esta metodología presenta ciertos inconvenientes, como el hecho de que no siempre existirá un punto de inflexión, sino que más bien es una zona de inflexión o incluso, en muchos casos, se presentará una contracción gradual de la curva, con lo que la identificación del valor se volverá dificultosa y quedará la decisión en base al intérprete que esté realizando el estudio (Gippel y Stewardson, 1998).

2.4.2.2. Método de Indicadores de Alteración Hidrológica de Ritche

Este método sugiere la medición de los caudales con frecuencia diaria e índices calculados sobre una base anual del comportamiento hidrológico y su variabilidad estadística, para determinar caudales ecológicos de ríos o quebradas en los que el objetivo principal será la preservación del ecosistema natural (Villanueva y Alata, 2011).

El método, tiene en cuenta los siguientes factores:

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

2.4.3. Métodos de Simulación de Hábitat

Este conjunto de métodos está basado en las respuestas bióticas a los cambios incrementales de caudal a partir de la obtención exhaustiva de datos sobre un estado inicial de referencia en el que se estudia el comportamiento de la especie o grupo de especies que interese en relación con las características totales o variables de su medio. Estas variables u otras seleccionadas se cuantifican en forma de «curvas de idoneidad o de preferencia» para las especies estudiadas sobre las que es posible medir cuáles serán los efectos de una variación de algún parámetro de los seleccionados.

Generalmente los cambios en la disponibilidad e idoneidad de las combinaciones de hábitat hidráulico en el espacio y en el tiempo son modelados: se combina la información de requerimientos de las especies con relación a una serie de variables del hábitat, se realiza la medida de estas variables y se analiza su relación con el caudal. A partir de aquí se predice el óptimo de descargas en diferentes etapas como caudal medio medioambiental (Villanueva, Alata, 2011).

2.4.3.1. Método IFIM (Instream Flow Incremental Methodology)

Metodología desarrollada por el departamento de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos junto con un equipo multidisciplinario, con el objetivo de determinar los impactos ambientales sobre los hábitats con relación a las variaciones de caudal en un tramo de un cauce. Este método busca simular las condiciones hidráulicas de un determinado hábitat como lo son la velocidad, la profundidad, el sustrato y la cobertura, para poder evaluar los efectos que los cambios artificiales del caudal producen en el desarrollo de las especies seleccionadas. Además, IFIM simula condiciones de temperatura y la calidad del agua longitudinal aguas abajo, ya que estas son afectadas por los cambios de caudal (Bernuy, 2019).

El producto de la aplicación de este modelo nos dará el área total del hábitat fluvial utilizable, incluyendo la variación con el caudal y las series temporales de hábitat para cada uno de los estadios considerados. Sin embargo, es fundamental determinar el grado de equilibrio en la cuenca utilizada. Los desequilibrios de una cuenca como los problemas erosivos conducen a resultado inexactos pues son alterados sobre los cauces fluviales y el hábitat natural de las especies.

2.4.3.2. Método PHABSIM (Physical Habitat Simulation)

Corresponde a una colección de métodos implementados en software, los cuales permiten determinar las variaciones que experimenta la disponibilidad de hábitat con el caudal y en función de la morfología del cauce (Bovee, 1982).

El método PHABSIM consta de dos componentes principales: *el modelo hidráulico y el modelo del hábitat*. El modelo hidráulico, predice la profundidad y velocidad del agua en una sección transversal del cauce a partir de datos reales tomados en un determinado caudal circulante. El modelo del hábitat pondera cada celda en que es dividida la sección transversal, utilizando índices que asignan un valor comprendido entre cero y uno para cada parámetro de hábitat considerado (profundidad, velocidad, sustrato y cobertura) indicando cuán adecuados son para la especie considerada. Evalúa sobre un tramo de 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 el organismo (Villanueva, Alata, 2011).

2.4.4. Métodos Holísticos

Consisten en una serie de procedimientos donde el caudal ecológico es deducido al buscar una solución acordada (consensuada) a partir del análisis de la magnitud y de la distribución del caudal que necesitan los componentes del ecosistema fluvial: aspectos abióticos, ecológicos, perceptuales, socioeconómicos o todos en su conjunto. Se basan en el trabajo

conjunto de un panel de expertos quienes utilizan y aplican su experiencia profesional y datos hidráulicos de la corriente superficial en estudio (Villanueva, Alata, 2011).

2.4.4.1. Método de Benchmarking o Aproximación Topdown

En esta metodología, el caudal es determinado a partir de un valor de flujo máximo aceptable hasta valores menores (aproximación Topdown). A partir de información disponible, diversos modelos conceptuales y el juicio de expertos, se identificarán indicadores hidrológicos que son considerados ecológicamente relevantes para caracterizar los cauces ecológicos dentro de un río como benchmark o de referencia. Posteriormente, los impactos ecológicos son relacionados en función de cambio de flujo hídrico y se investiga y determina cuánto puede cambiar el flujo de agua antes de que el ecosistema sea degradado (García de Jalón, D; Gonzalez del Tánago, M, 2006).

2.4.4.2. Método del Caudal de Garantía Ambiental (EPM)

Consiste en definir los límites mínimos de caudal ecológico que puedan ser tolerados por un curso de agua, contemplando aspectos físicos, químicos, bióticos, sociales e incluso estéticos, tales como: (Villanueva, Alata, 2011).

- Definición del Caudal Ambiental Natural
- Evaluación Natural Multivariable
- Determinación del Caudal de Garantía Ambiental
- Determinación de los Caudales de Recuperación
- Determinación de Caudal Adicional
- Determinación de Requerimientos Excepcionales
- Presupuesto de agua

3. ÁREA DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO SANTA

3.1. Localización

La cuenca del río Santa forma parte de la cuenca del Océano Pacífico, pertenece a la región hidrográfica del Pacífico. Se ubica entre los -7.968620 y -10.226387 de latitud, -78.645365 y -77.169280 de longitud. Comprende alturas que van desde el nivel del mar hasta los 6768 msnm, correspondiente al Nevado Huascarán (Villanueva, 2011).

La cuenca del río Santa está ubicada en la costa central del Perú, en el departamento de Ancash; políticamente comprende 12 provincias y 69 distritos. Está delimitada por la Cordillera Blanca al Este, conformada por la cadena glacial más extensa del Perú, y por la Cordillera Negra al Oeste, conformada por una cadena montañosa carente de glaciares. Posee una extensión de 11,596.51 Km² y un perímetro de 960.302 Km. La longitud promedio es de aproximadamente 320 Km y un ancho promedio de 38 Km (Villanueva, 2011).

Su principal río, el Santa, tiene una longitud de 316 Km y una pendiente promedio de 1.4% cuya naciente es la laguna Ancash, la cual se encuentra ubicada en el extremo sur-este del Callejón de Huaylas, a una altura aproximada de 3944 m.s.n.m. entre las coordenadas 09°56'40" latitud sur y 77°11'44" latitud oeste. La cuenca del río Santa representa una altura máxima de 6768 m.s.n.m. que corresponden al nevado Huascarán, una altura media de 2100 m.s.n.m. (Caraz) y una altitud mínima de 0 m.s.n.m. que corresponde a la desembocadura del Océano Pacífico (SEDALIB S.A., 2018).

Asimismo, la cuenca presenta los siguientes límites hidrográficos:

- Norte: Cuenca de los ríos Chao o Huamansaña, Virú, Moche, Crisnejas y Alto Marañón V.
- Sur: Cuencas de los ríos Pativilca y Fortaleza.
- Este: Cuenca del río Alto Marañón V.
- Oeste: Cuencas de los ríos Lacramarca, Nepeña, Casma, Huarmey y Océano Pacífico.

La cuenca del Río Santa posee las siguientes coordenadas en el Sistema Transversal de Mercator (UTM WGS-84).

Tabla 4: Coordenadas del río Santa en el sistema UTM WGS-84

Coordenadas			
Este (X)	759,339 m	257,543.71 m	Zona 17 L
Norte (Y)	887,902 m	9'107,678.60 m	Zona 18 L
Altitud	6,768 m	-	-

Fuente: Diagnóstico Hídrico de la Cuenca del río Santa como Fuente de Agua y Servicios Ecosistémicos Hídricos. SEDALIB S.A., 2018

A continuación, se mostrarán 2 mapas que permitirán entender con mayor facilidad la extensión y posición de la cuenca estudiada.

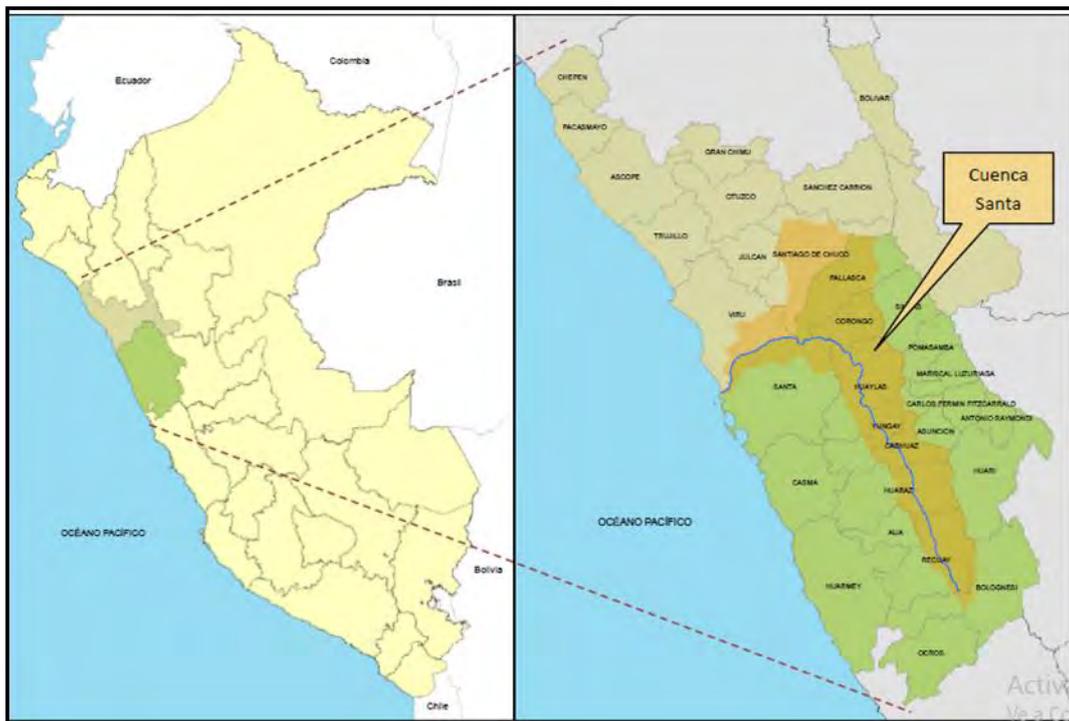


Figura 8: Ubicación de la cuenca del río Santa

Fuente: Diagnóstico Hídrico de la Cuenca del Río Santa como Fuente de Agua y Servicios Ecosistemas Hídricos. SEDALIB S.A., 2018

Tabla 5: Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Santa

Parámetro	Unidad)	Cantidad
Área	Km ²	277.52
Perímetro	Km	311.23
Cota Mínima	m.s.n.m	3,768.37
Cota Máxima	m.s.n.m	4,400.00
Altitud Media	m.s.n.m	4,144.48
Longitud Río Principal	Km	103.12

Fuente: Diagnóstico Hídrico de la Cuenca del Río Santa como Fuente de Agua y Servicios Ecosistemas Hídricos. SEDALIB S.A., 2018

Constituye uno de los ríos con el mayor aporte glaciar debido a su cercanía con la Cordillera Blanca, la cual es la de mayor superficie del Perú. El río abastece y se subdivide en dos importantes irrigaciones: Chavimochic y Chinecas, la primera hacia el norte y la segunda hacia el sur. Asimismo, cuenta con centrales hidroeléctricas, siendo la de Cañón del Pato, la de mayor generación de energía y la cual consecuentemente va a generar un impacto en el consumo del caudal, el cual se recomienda que sea estudiado (Villanueva, 2011).

Actualmente, el registro del caudal del río Santa es realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y cuenta con una estación de monitoreo conocida como Condorcerro.

A continuación, se procederá a presentar un balance hídrico con la información al año 2011. La información reporta los volúmenes de agua otorgados como licencias de uso de agua para valles que el río Santa abastece, tales como el valle del Santa, Lacramarca, Nepeña, Guadalupito, Chao, y Virú. Es importante mencionar que el presente balance no toma en cuenta el consumo de agua que generará las centrales hidroeléctricas y su efecto en el caudal del río.

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	241,0	231,8	257,1	248,8	112,1	46,2	36,2	33,2	34,5	54,7	101,8	185,4
Demanda	42,9	35,4	34,5	29,4	28,2	21,08	19,1	20,25	29,3	39,2	46,1	50,5
S(+)/D(-)	198,1	196,4	222,5	219,3	83,8	25,1	17,1	12,9	5,2	15,5	55,6	134,8

Figura 9: Balance Hídrico de la cuenca del río Santa
Fuente: Diagnóstico sobre los caudales ecológicos en Perú. ANA, 2015

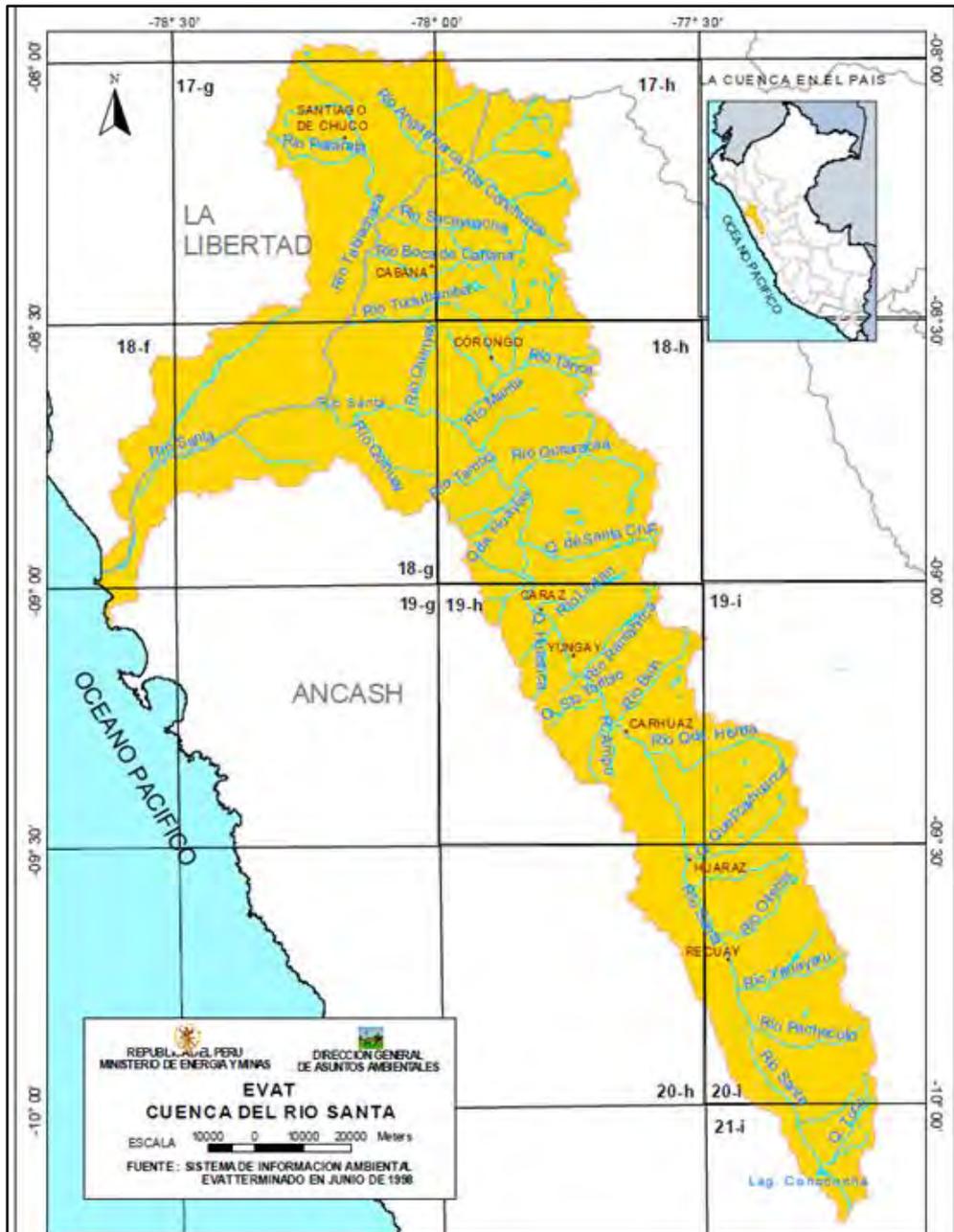


Figura 10: Mapa de extensión de la cuenca del río Santa en Ancash

Fuente: Estudio de evaluación ambiental de territorial y de planeamiento para reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Santa. MINEM, 2018.

3.2. Oferta Hídrica

3.2.1. Fuente Hídrica

Es importante conocer la oferta hídrica de la cuenca del río Santa para los diferentes usos, ya sea poblacional o de actividades económicas (agrícolas, mineras, etc.). La disponibilidad hídrica de esta cuenca asciende a 4788.45 hm³/año, tal como se puede apreciar en el siguiente cuadro (SEDALIB S.A., 2018):

Tabla 6: Aporte tributario que alimenta la cuenca del río Santa

TRIBUTARIOS	OFERTA MEDIA (hm ³ /año)
La Balsa	1209.85
Chuquicara	1080.19
Quitaracsa	255.04
Chancos	248.09
Alto Manta	246.42
Quilcay	235.71
Colcas	168.06
Olleros	149.27
Condorcerro	135.81
Pachacoto	129.07
Medio Bajo Santa	87.96
Ampu	83.09
Llanganuco	79.33
Medio Alta Santa	76.52
Los Cedros	71.33
Palo Redondo	67.68
Recreta	66.50
Collota	56.15
Queracocha	52.78
Parón	42.35
Rajucolta	42.11
Bajo Manta	41.23
Santo Toribio de Shupluy	36.86
San Luis - Yungar	35.39
Chinchayhuasi	34.33
Aguascocha	27.45
Lag. Rajucolta	17.17
Cullicocha	6.49
Bajo Santa Valle	6.20
TOTAL	4788.43

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca del río Santa. ANA, 2015

3.2.2. Precipitación

Según la distribución espacial de la precipitación, la cuenca puede ser dividida en dos sectores: la cuenca “seca”, comprendida desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm, donde la precipitación pluvial es menor a 250 mm y que no aporta caudal a la escorrentía. Por otro lado, el sector correspondiente a la “cuenca húmeda”, que abarca los 10200 km² y está comprendida entre los 1800 y 4200 msnm cuyo promedio de precipitación anual oscila entre los 250 mm y 1200 mm respectivamente. (SEDALIB S.A., 2018).

La precipitación total multianual presenta valores desde 5 mm anuales (en la costa, al oeste y parte baja de la cuenca), hasta 1400 mm anuales (al norte y parte alta de la cuenca). La

precipitación aumenta de oeste a este, y son más intensas en la zona fronteriza del norte y por encima de los 3500 msnm. Las variaciones estacionales de descargas del río Santa son una consecuencia directa del comportamiento de las precipitaciones que ocurren en su cuenca alta, notándose durante el periodo de estiaje, la influencia de los deshielos de los nevados de la Cordillera Blanca (SEDALIB S.A., 2018).

El monitoreo de la precipitación es de gran relevancia para estimar el aporte de las fuentes hídricas actuales, y más importante aún, para un adecuado diseño de proyectos de infraestructura hídrica.

3.2.3. Caudal

Los meses de mayor caudal son de diciembre a abril, por lo que son los meses de mayor interés de estudio. El río Santa presenta un comportamiento estacional, en el que el periodo de caudal máximo (avenidas) se presenta entre los meses de diciembre y abril; y el periodo de caudal mínimo (estiaje), entre junio y setiembre. Los meses restantes corresponden a meses transicionales, entre los dos anteriores. De acuerdo con este comportamiento, el río Santa descarga el 71.06% de su volumen total anual durante el periodo de avenidas (5 meses), que corresponden a 3058.15 MMC; y el periodo de estiaje (4 meses) descarga el 11,95% de este volumen, que es equivalente a 514.28 MMC (SEDALIB S.A., 2018)

El régimen de descargas durante el año es muy variable, siendo el mes de marzo el de mayor caudal con **237.78 m³/s**; y julio y agosto, los meses de menor caudal, con **34.43 m³/s** y **35.85 m³/s** respectivamente. El río Santa, tiene un caudal promedio multianual de **152.85 m³/s**, el cual equivale a un volumen total de **4788.43 MMC/año** (SEDALIB S.A., 2018)

En el siguiente cuadro se describe el caudal del río Santa en función de los tributarios:

Tabla 7: Tributarios del Santa

TRIBUTARIOS	CAUDAL MEDIO (m ³ /s)
La Balsa	38.68
Chuquicara	34.49
Quitaracsa	8.12
Chancos	7.90
Alto Manta	7.86
Quilcay	7.51
Colcas	5.36
Olleros	4.76
Condorcerro	4.34
Pachacoto	4.11
Medio Bajo Santa	2.81
Ampu	2.66
Llanganuco	2.52
Medio Alto Santa	2.45

Los Cedros	2.27
Palo Redondo	2.16
Recreta	2.13
Collota	1.79
Queracocha	1.68
Paron	1.35
Rajucolta	1.34
Bajo Manta	1.32
Santo Toribio de Shupluy	1.18
San Luis - Yungar	1.13
Chinchayhuasi	1.10
Aguascocha	0.88
Lag. Rajucolta	0.54
Cullicocha	0.21
Bajo Santa Valle	0.20
TOTAL	152.85

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca del río Santa. ANA, 2015

En la siguiente figura se presenta el caudal medio anual de la cuenca del río Santa. En la figura, se observa que el año de menor caudal fue el 2016 y el de mayor caudal, el 2018. Asimismo, es válido recalcar que los años 2009 y 2018 fueron los años de gran disponibilidad hídrica.

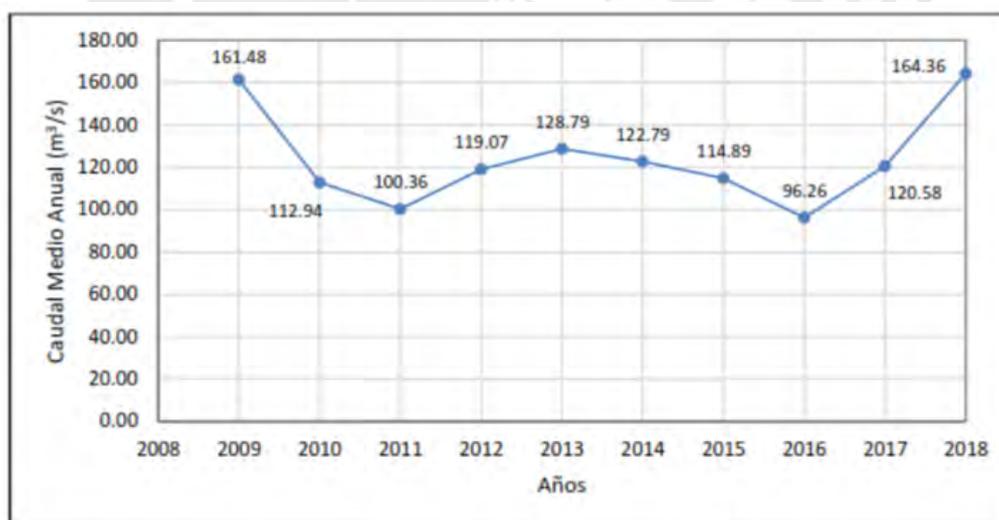


Figura 11: Caudal medio anual del Santa (2008-2018)

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca del río Santa. ANA, 2015

3.3. Demanda Hídrica

La zona próxima al río Santa presenta una población que implica una demanda y consumo del recurso hídrico; según la bibliografía consultada, se han identificado cuatro tipos de demandas hídricas: poblacional, agrícola, industrial y/o minera y energética.

A. Uso Poblacional

La demanda poblacional dentro de la cuenca del río Santa asciende a **23.96 hm³**, registrándose las mayores demandas en las áreas definidas del Bajo Santa (Valle) con 9.5 hm³, La Balsa con 4.63 hm³ y Quilcay con 7.28 hm³. En la Tabla 8 se muestran las demandas de agua en la cuenca, así como los déficits de la misma en los periodos de estiaje (junio a noviembre). Según la información recopilada no existen déficits para el abastecimiento de agua a la población (SEDALIB S.A., 2018).

La población de la cuenca del río Santa es típicamente urbana; focalizada en las ciudades de Chimbote, Santa, Casma y Huarmey. En esas zonas, como en todas las grandes ciudades de la costa, el crecimiento de la población ha sido mayor que las tasas de crecimiento vegetativo, explicado principalmente por las corrientes migratorias de campo a la ciudad, ocasionado en esta, problemas socioeconómicos complejos, cuyo análisis escapa al objetivo principal del presente estudio. (MINEM, 1998).

Geográficamente, dentro de la cuenca, se pueden distinguir las áreas definidas en la cuenca baja o de valle y la cuenca alta o cuenca húmeda, donde destacan las ciudades de Cátac, Ticapampa, Recuay, Huaraz, Jangas, Taricá, Yungar, Pariahuanca, Anta, Carhuaz, Yungay, Caraz, Huallanca, Chuquicara, Corongo, Pallasca, Conchucos, entre otras. (MINEM, 1998).

Tabla 8: Balance Hídrico: Demanda Poblacional

SUBSISTEMA	DEMANDA POBLACIONAL (hm ³ /año)		
	Total	Servida	Déficit
Bajo Santa (Valle)	9.85	9.85	0
Quilcay	7.28	7.28	0
La Balsa	4.63	4.63	0
Chuquicara	1.46	1.46	0
Shupluy	0.60	0.60	0
Corongo	0.14	0.14	0
Ampu	0.00	0.00	0
Chancos	0.00	0.00	0
Chinchayhuasi	0.00	0.00	0
Colcas	0.00	0.00	0
Collota - Quitaracsa	0.00	0.00	0
Llanganuco	0.00	0.00	0
Los Cedros	0.00	0.00	0
Medio Bajo Santa	0.00	0.00	0
Olleros	0.00	0.00	0
Parón	0.00	0.00	0
Rajucolla	0.00	0.00	0
Recreta	0.00	0.00	0
San Luis - Yungar	0.00	0.00	0
CUENCA TOTAL	23.96	23.96	0

B. Uso Agrario

La demanda agrícola de la cuenca del río Santa asciende a **1489.77 hm³**, siendo solamente la demanda servida de 1371.93 hm³, existiendo un déficit para este tipo de uso de 117.85 hm³. Las mayores demandas corresponden al medio bajo Santa con 752.5 hm³, el bajo Santa (valle) con 150.4 hm³ y la Balsa con 166.6 hm³ (SEDALIB S.A., 2018).

A continuación, se procede a mostrar las demandas de agua en la cuenca para uso agrícola:

Tabla 9: Balance Hídrico: Demanda por Uso Agrario

SUBSISTEMA	DEMANDA AGRÍCOLA (hm ³ /año)		
	Total	Servida	Déficit
La Balsa	166.6	129.14	37.47
San Luis - Yungar	43.16	15.68	27.48
Ampu	39.08	21.04	18.04
Recreta	35.02	24.28	10.74
Shupluy	20.42	12.24	8.18
Parón	47.31	40.47	6.84
Chinchayhuasi	13.84	7.350	6.48
Bajo Santa (Valle)	150.4	149.12	1.28
Colcas	62.10	61.17	0.93
Medio Bajo Santa	752.55	752.23	0.33
Chuquisaca	82.70	82.63	0.07
Rajucolla	6.47	6.46	0.01
Chancos	0.00	0.00	0.00
Collota - Quitaracsa	3.59	3.59	0.00
Corongo	24.07	24.07	0.00
Llanganuco	0.94	0.94	0.00
Los Cedros	0.00	0.00	0.00
Olleros	3.45	3.45	0.00
Quilcay	32.13	32.13	0.00
CUENCA TOTAL	1489.77	1371.93	117.85

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca del río Santa. ANA, 2015

C. Uso Industrial y Minero

La demanda exigida por este sector asciende a **5.39 hm³**, siendo solamente la demanda servida de 5.16 hm³, registrándose un déficit de 0.23 hm³. Las mayores demandas corresponden a Chuquicara con 2.28 hm³ y el bajo Santa (valle) con 1.87 hm³. Los déficits corresponden a los meses de junio hasta noviembre (periodos de sequía).

Tabla 10: Balance Hídrico - Demanda Industrial y Minero

SUBSISTEMA	DEMANDA INDUSTRIAL Y MINERA (hm ³ /año)		
	Total	Servida	Déficit
La Balsa	1.13	0.91	0.22
Chuquicara	2.28	2.27	0.01
Bajo Santa (Valle)	1.87	1.87	0.00
Chinchayhuasi	0.09	0.09	0.00
Parón	0.09	0.09	0.00
Chancos	0.02	0.02	0.00
Llanganuco	0.00	0.00	0.00
Ampu	0.00	0.00	0.00
Colcas	0.00	0.00	0.00
Collota - Quitaracsa	0.00	0.00	0.00
Corongo	0.00	0.00	0.00
Los Cedros	0.00	0.00	0.00
Medio Bajo Santa	0.00	0.00	0.00
Olleros	0.00	0.00	0.00
Rajucolla	0.00	0.00	0.00
Recreta	0.00	0.00	0.00
Quilcay	0.00	0.00	0.00
San Luis - Yungar	0.00	0.00	0.00
Shupluy	0.00	0.00	0.00
CUENCA TOTAL	5.89	5.16	0.23

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca del río Santa. ANA, 2015

D. Uso Energético

En la cuenca del río Santa, la Central Hidroeléctrica más importante es la del Cañón del Pato con capacidad de generación de 267 MW. La Central Hidroeléctrica Virú también aprovecha las aguas del río Santa para producir energía. Se cuenta con la presencia de otras centrales como la Central Hidroeléctrica Quitaracsa I que genera 114 MW, la Central Hidroeléctrica Santa Cruz entre otras como la C.E. Pariac, C.E. Huinac y la mini central de la casa de Guías de Montañas (SEDALIB S.A., 2018).

Se procederá con la descripción del consumo de las dos (02) centrales de mayor relevancia en esta cuenca, la Central del cañón del Pato y la Central de Virú.

Central Hidroeléctrica Cañón del Pato:

Ubicada en el distrito de Huallanca, provincia de Huaylas, a 35 Km, aproximadamente aguas debajo de Caraz, es el aprovechamiento más importante de los recursos de agua de la cuenca alta. Emplea las aguas del río Santa para la generación de energía eléctrica aprovechando una caída de agua de 400 m aproximadamente (SEDALIB S.A., 2018).

En la actualidad esta central posee una potencia instalada de 267 MW y cuenta con dos bocatomas que le permiten captar 78 m³/s. La Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato cuenta desde el año 1992 complementariamente con dos embalses del tipo estacional en la cuenca del río Santa; Parón y Cullicocha, con un volumen útil de 46 hm³; los que permiten almacenar el agua en periodos de avenida (diciembre – mayo) y descargarlas en estiaje (junio – noviembre), con un caudal que varía entre 4 a 9 m³/s durante 8 horas. En la operación de estos embalses se considera la demanda de agua para agricultura, por lo que durante todo el año siempre se deja pasar un caudal de 0.50 m³/s en Parón y 0.17 m³/s en Cullicocha, caudales que se adicionan a los aportes propios de cada cuenca, aguas debajo de los embalses (SEDALIB S.A., 2018).

Existen 5 lagunas reguladas con el objetivo de incrementar el caudal base del río Huallanca en periodos de estiaje y así satisfacer la demanda energética en épocas de estiaje, estas lagunas son: Aguashcocha, Rajucolta, Cullicocha, Parón y Llanganuco.

Central Hidroeléctrica Virú:

Esta central forma parte del sistema hidráulico CHAVIMOCHIC, el cual se ubica en el margen izquierdo del río Virú en San José, adyacente a las obras hidráulicas de cruce del mismo río. La potencia nominal total es de 7.5 MW y cuenta con un caudal total de 9 m³/s. La energía eléctrica producida se distribuye en alta tensión por intermedio de la línea de transmisión en 34.5 Kv y dos subestaciones de transformación, ubicadas en Virú (de 6 MV) y en Chao, respectivamente. En total, la demanda de agua para el uso energético es de 0.19 hm³ (SEDALIB S.A., 2018).

E. Otros Usos

Este último grupo incluye otras actividades como piscícolas, recreacionales, turísticos entre otros. La demanda total para este tipo de usos asciende a **26.62 hm³**.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de la demanda hídrica en función del uso del agua. Se puede concluir en base a lo explicado que la demanda poblacional, agrícola, energética, minera e industrial no superan los derechos de agua otorgados; sin embargo, los “*otros usos*” sí lo han superado.

Tabla 11: Balance Hídrico: Demanda Global en cuenca del río Santa

Tipo de Uso	Tipos	DEMANDA (hm ³ /año)	
		Volumen (MMC/año)	Consumo (%)
Consuntivo	Agrícola	1489.76	96.56%
	Poblacional	23.96	1.55%
	Otros	23.50	1.52

	Minero + Industrial	5.39	0.35
	Energético	0.19	0.01%
TOTAL		1542.8	100.00%

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca del río Santa. ANA, 2015

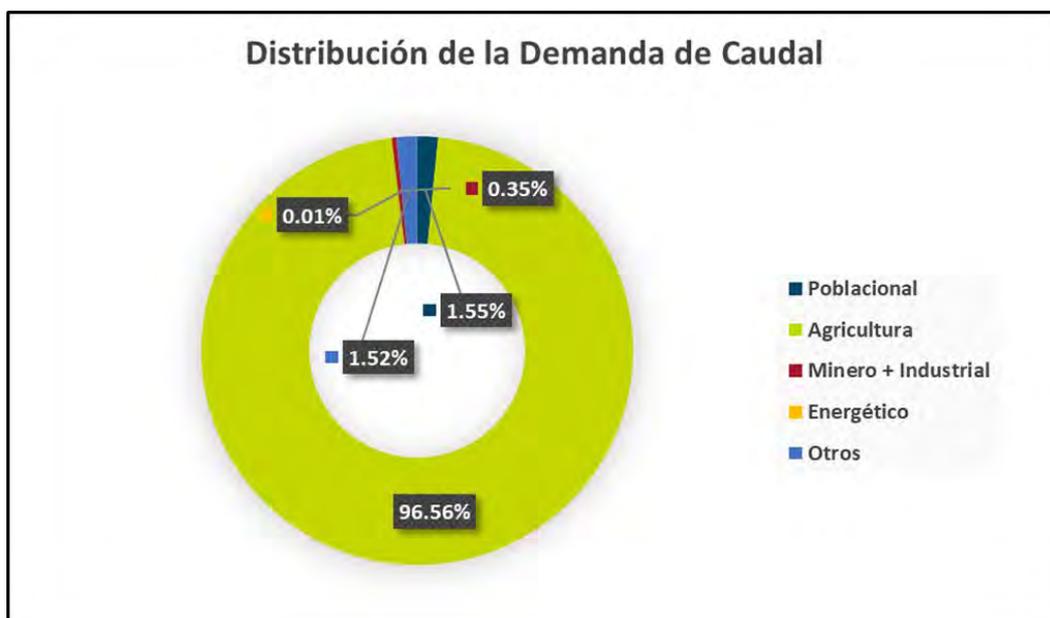


Figura 12: Distribución de Consumo del Caudal en el río Santa

Fuente: Modificado de Diagnóstico Hídrico de la Cuenca del río Santa como fuente de agua y Servicios Ecosistémicos. SEDALIB S.A., 2018

3.4. Problemas ambientales en la cuenca del río Santa

Hay una serie de determinados elementos que deben tomarse en cuenta al momento de realizar la caracterización ambiental de la Cuenca del río Santa. Según los principales detractores de la minería, la cuenca es afectada de manera negativa o perjudicial por el desarrollo de los proyectos mineros. Las operaciones envenenan el ecosistema producto de la generación de polvo, residuos, desechos e incluso con la aparición de metales en la composición del agua.

El caso de la contaminación no se profundiza en este trabajo de investigación, pero es importante conocer el estado actual del río en términos de contaminación.

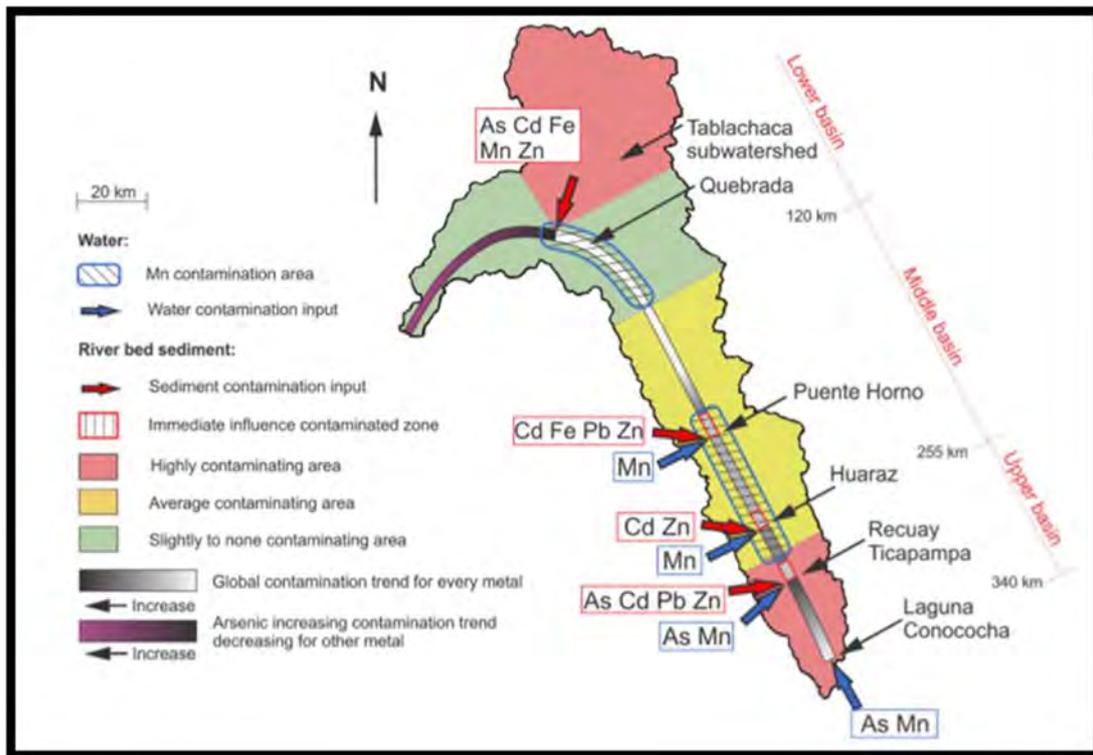


Figura 13: Mapa de rastro de la contaminación en el río Santa
Fuente: Trace Metal Contamination in Santa River Basin. Environ Monit Assess, 2017

En el año 2008, la cuenca del río Santa poseía un total de 342,8 km² de glaciares en retroceso. Todos los glaciares de la Cordillera Blanca desde varios años vienen atravesando un retroceso de desglaciación acelerada. Según la unidad de Glaciología y Recursos Hídricos del ANA, entre 1995 y 2007, el glaciar Pastoruri perdió el 40% de su superficie glacial, pasó de tener 1.8 km² en 1995 a 1.4 km² en 2001 y 1.1 km² en 2007. Los efectos de este proceso irreversible serán drásticos no solo para los recursos hídricos que son indispensables para la actividad humana, sino también sobre el nivel de riesgo físico natural y la dinámica de los ecosistemas (SEDALIB S.A., 2018).

Por otro lado, los afluentes del río Santa están seriamente contaminados por prácticas mineras inadecuadas, pasivos ambientales (revisar Anexo 1: Distribución de pasivos mineros a lo largo de la cuenca del río Santa), así como por efluentes urbanos no procesados o tratados y residuos sólidos que llegan a alterar la calidad de las aguas de la cuenca. Se han medido concentraciones importantes de metales pesados como fierro, plomo, zinc, cobre, cadmio, arsénico y antimonio en zonas afectadas con relaves mineros como Ticipampa (Romero; 2010). Por otro lado, la carga de sedimentos producto de la erosión en los sectores altos y medios de la cuenca produce problemas en la infraestructura de riego en proyectos como CHAVIMOCHIC. A medida que el río Santa discurre hacia el norte se ve incrementada su carga orgánica habiéndose registrado valores altos de nutrientes (nitratos) y una alta carga bacteriológica (SEDALIB S.A., 2018).

Asimismo, el sobrepastoreo reduce significativamente la cobertura vegetal, compacta el suelo, evita la normal recuperación de la cobertura vegetal e interrumpe el ciclo biológico de las plantas no permitiéndolas fructificar y renovar plantas nuevas con genes nuevos. Esta actividad, en la cuenca alta y media del Santa, se da como producto de la crianza del ganado vacuno, equino y lanar (Villanueva, 2011).

Finalmente, los incendios forestales que se producen tanto en la cordillera Negra como en la Blanca, afectan la cobertura vegetal. Estos incendios están muy ligados a las condiciones de sequedad del clima, así como a las costumbres de las poblaciones rurales respecto a la renovación de los pastos. En el caso del Parque Nacional Huascarán, las llamas pueden iniciarse en las zonas de amortiguamiento y terminan consumiendo bosques, rodales de Puya Raimondi, vegetación de paredones, matorrales y pastizales de la zona núcleo del Parque Nacional Huascarán. En el reporte realizado por SERNANP en el 2010, entre los años 2005 y 2009, la superficie incendiada fue de 4193.83 has (SERNANP, 2010).

Entre las actividades con mayor impacto en la cuenca y que ejercen impactos directos sobre los ecosistemas de la misma se han identificado:

- La actividad minera, principalmente la minería informal.
- El sobrepastoreo de praderas altoandinas.
- El cambio de uso de suelo por crecimiento de las áreas agropecuarias, crecimiento urbano y desarrollo de infraestructura.
- Incendios forestales.
- Deficientes sistemas de saneamiento (tratamiento de aguas servidas y residuos sólidos).
- Caza y pesca furtiva.
- Actividad turística informal.
- Empleo de agroquímicos.

3.4.1. Fuentes contaminantes en la cuenca del río Santa

En el extenso recorrido del río Santa, desde su nacimiento en la Laguna Conococha, hasta la Bocatoma del P.E. CHAVIMOCHIC, existen una serie de centros poblados ubicados en ambos márgenes, especialmente entre el Cañón del Pato y la localidad de Catac.

A lo largo del Callejón de Huaylas, las ciudades con población mayor a 2000 habitantes cuentan con un sistema de alcantarillado cuyos desechos sólidos y líquidos son vertidos por lo general a acequias, directamente al cauce del río Santa o afluentes sin tratamiento previo. Adicionalmente, existen otros agentes contaminantes como los pasivos mineros (centros

mineros y canchas de relaves abandonados), camales, vertimiento de aguas residuales de riego con ciertos contenidos de sustancias tóxicas (debido a la aplicación de fertilizantes sintéticos y pesticidas), y a la cantidad de sólidos en suspensión que se generan en épocas de avenidas (proceso de erosión de suelos) (SEDALIB S.A., 2018).

En la cuenca del río Santa se han identificado 152 fuentes contaminantes ubicadas en el ámbito de cuatro Autoridades Locales de Agua (ALA). Cabe señalar que las fuentes contaminantes identificadas se distribuyen en siete (07) provincias del departamento de Ancash y dos (02) de La Libertad. De las 152 fuentes contaminantes, 89 (58.6%) se ubican en el ámbito de la ALA Huaraz, 14 (9.2%) en el ámbito de la ALA Santiago de Chuco, 48 (31.6%) en el ámbito de la ALA Moche Virú Chao. Según los resultados obtenidos se resalta que el mayor número de fuentes contaminantes corresponden a las aguas residuales domésticas – municipales. De esta manera, del total de 152 fuentes contaminantes detectadas, se observan que 100 (66%) correspondían a vertimientos de aguas residuales domésticas; 15 (10%) correspondían a vertimientos de origen minero; 4 (3%) a vertimientos de camales; 6 (4%) a vertimientos de origen de aguas termales mezcladas con efluentes domésticas; 3 (2%) a aguas de riego agrícolas; 13 (8%) a pasivos ambientales mineros y 11 (7%) corresponden a botaderos de residuos sólidos (ANA, 2015).

La **Tabla 12** indica los valores de caudales aproximados de cada uno de los vertimientos no autorizados por el ANA.

Tabla 12: Volumen total estimado de vertimientos de agua residuales no autorizados

Tipo de Uso	Caudal		
	L/s	m ³ /d	m ³ /año
Sector saneamiento (doméstico-municipal)	1410.3	121849.9	44475220.8
Sector minero	285.9	24701.8	9016142.4
Sector industrial (camales)	19.5	1684.8	614952.0
Sector turismo (baños termales)	6.4	553.0	201830.4
TOTALES	1722.1	148789.4	54308145.6

Fuente: Informe Técnico N°024-2017-ANA-AAA.HCH-SDGCRH. ANA, 2017

3.4.2. Biodiversidad

El Caudal Ecológico relaciona el concepto de demanda de agua por actividad económica (en este caso haciendo clara referencia a la minería) con el ecosistema y la biodiversidad que contempla el hábitat estudiado. Asimismo, determina el impacto generado durante los años operativos de las unidades mineras; los cuales dependerán de la magnitud de la explotación minera realizada cerca la zona de estudios.

Tabla 13: Estatus ecológico de los ecosistemas en la cuenca media-alta del río Santa

Clasificación de ecosistemas				Estatus Ecológico
Ecosistema	Superficie	Número	%	Calificación de su condición
				Promedio
Bofedal	12079.2	2	1.6	Pobre
Pajonal	482093.4	13	63.9	Pobre
Arbustal	116968.2	13	15.5	Pobre
Bosque	143190.6	13	19.0	Pobre
Total	754331.4	41	100.0	

Fuente: Situación Actual y Rol de los Ecosistemas en la Regulación Hidrológica de la Cuenca del Río Santa. UICN, 2011.

3.4.2.1. Flora

La flora identificada constituye amplias coberturas de importancia en la biodiversidad florística de pastizales (esta constituye el 42% de la superficie de la cuenca). Esta diversidad florística está determinada por su diversidad de ecosistemas con gran influencia altitudinal (Villanueva, 2011).

Podemos encontrar cuatro grandes dominios que componen la riqueza florística:

- Provincia Desértica: Compuesta por comunidades macro térmicas conformadas por Tillansiales y plantas típicas de las planicies costeras. Las comunidades acuáticas se ubican en zonas ribereñas de Cola de caballo, Pica pica, Lengua de vaca y Algarrobo (Villanueva, 2011).
- Provincia de Vertientes Orientales: Compuesta por formaciones vegetales de zonas áridas y semiáridas como el Palo negra, y en el fondo especies como ralas de espinos, tara, sauce, molle, uña de gato, pájaro, etc (Villanueva, 2011).
- Provincia Altoandina: Caracterizada por vegetación de hojas angostas, así como presencia de pelos. Se distingue la comunidad de césped de Puna donde predominan muchas especies de gramíneas. Asimismo, se puede encontrar a la comunidad de Pajonales la cual está compuesta por especies como el cóndor cebolla, champa y wuakur. Es una de las partes más importantes de la riqueza florística ya que se encuentra próximo al Parque Nacional Huascarán, el cual tiene identificadas 901 especies de flora (Villanueva, 2011).

- Provincia de Valles Interandinos: Correspondiente al Callejón de Huaylas, presenta vegetación arbórea, donde predominan especies como el paso santo, quishuar, huanarpo hembra, chirimoya silvestre, tar, tsakpa y bejuco (Villanueva, 2011)

Una apreciación relevante de mencionar es que, en el año 2006, mediante el Decreto Supremo N° 043-2006-AG, se realizó la categorización de especies amenazadas a nivel de la cuenca, clasificándolas en Peligro Crítico, Peligro de Extinción y En Situación Vulnerable y Casi Amenazado.

Tabla 14: Especies en “Peligro Crítico” y “Severo” de extinción en la cuenca del río Santa

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
En peligro crítico	
Japru	<i>Gynoxis dilloniana</i>
Quishuar	<i>Buddleia incana, Buddleia coriacea, Buddleia longifolia</i>
Palo santo	<i>Bursera graveolens</i>
Mito	<i>Carica candicans</i>
Pinco-pinco	<i>Ephedra rupestris</i>
Malvácea	<i>Nototriche lopezii</i>
Lloque	<i>Kageneckia lanceolata</i>
Rima Rima	<i>Ranunculus macropetalus</i>
Quenual	<i>Polylepis incana, Polylepis racemosa</i>
Papa silvestre	<i>Solanum sp.</i>
Cactácea	<i>Haageocereus pacalaensis</i>
Orquídea	<i>Masdevalia sp.</i>
En peligro	
Puya	<i>Puya raimondii</i>
Algarrobo, huarango	<i>Prosopis chilensis, Prosopis juliflora</i>
Ratania	<i>Krameria lappacea</i>
Quenual	<i>Polylepis microphylla, Polylepis multijuga,</i>
Orquídea	<i>Masdevalia sp.</i>
Cactácea	<i>Haageocereus sp.</i>

Fuente: Decreto Supremo N°043-2006-AG – Aprueban Categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre. Diario Oficial El Peruano, 2006

3.4.2.2. Fauna

La distribución de la fauna en el río Santa está directamente relacionada con la altitud y las comunidades vegetales existentes.

Un primer conjunto importante de especies se encuentra representado en la avifauna que abunda en el Parque Nacional Huascarán. En la parte media y baja de la cuenca destacan las especies huaco, garza blanca, gaviota peruana, golondrina, pelícano y águila pescadora. Por otro lado, en la parte alta del Parque Huascarán se ha tenido registro de especies como: zorro andino, puma, comadreja, oso de anteojos, venado, vizcacha, muca, alpaca y zorrillo (Villanueva, 2011)

En el 2004, mediante el Decreto Supremo D.S. N° 0.4-2004-AG se listó una serie de especies amenazadas y en peligro de extinción resumidas en la **Tabla 14** (Villanueva, 2011).

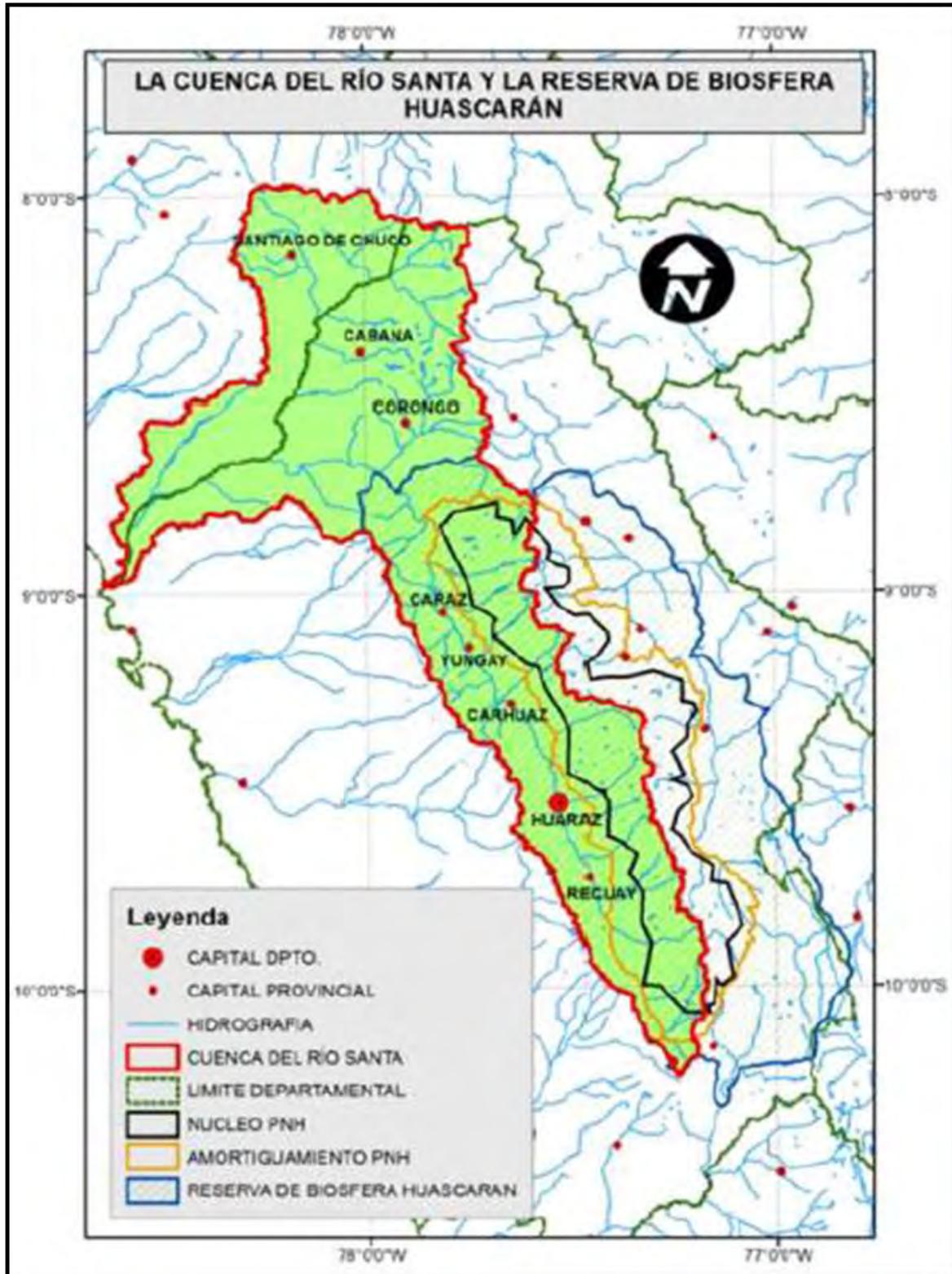


Figura 14: Biósfera del Parque Nacional del Huascarán
Fuente: Características de la Cuenca del río Santa. Villanueva R., 2011

3.5. Actividades mineras en la cuenca del río Santa

La conformación geológica de la cuenca del Santa ha permitido que esta región desarrolle condiciones muy favorables para la ocurrencia de yacimientos tanto metálicos como no metálicos. La existencia de substratos sedimentarios con coberturas e intrusiones volcánicas y plutónicas ha originado diversos depósitos y la acumulación de minerales en tres principales zonas.

- Zona Norte: Ubicada en la parte alta del río Chuquicara y que se extiende hasta la cuenca del río Manta. Cuenta con una geología muy particular, donde los yacimientos están constituidos por rocas de las formaciones Chicama, Santa y Carhuaz, de areniscas, pizarras, cuarcitas y calizas instruidas por el batolito (Villanueva, 2011).
- Zona de la Cordillera Negra: Dentro de la cuenca del río Santa se encuentran yacimientos del tipo polimetálicos, es decir, ricos en metales de base como cobre, plomo y zinc. Es por ello que en esta área podemos encontrar diversas minas: Colquiporo, El Extraño, Buena Cashma, Santo Toribio, Mercedita, Argentina, Rosario, Madre de Dios, Santa Elenita y diversos proyectos de exploración recientes (Villanueva, 2011).
- Zona de Cordillera Blanca: El potencial minero de esta zona se encuentra en el flanco oriental de la cuenca del río Marañón, sin restar importancia al flanco occidental donde se encuentran algunas minas de Cobre. Estos yacimientos se encuentran en su mayoría en los límites del Parque Nacional Huascarán y muchos son incluso explotados de manera informal ya que no está permitida la explotación en patrimonios e incluso muchos constituyen pasivos ambientales (Villanueva, 2011).

Con lo mencionado en la sección anterior queda demostrado la relevancia de la actividad minera para el progreso de la región próxima a la cuenca del río Santa. Es necesario mencionar que además hay proyectos de grandes capitales, como el de Antamina y el de Pierina (Barrick), sin embargo, debido a la proximidad y cercanía, se buscará analizar el impacto del conjunto de minas pequeñas.

Es bien sabido que uno de los principales efectos de la minería, es la reducción de la pobreza en el área que asienta sus operaciones, ese beneficio es amparado en un estudio realizado por el ANA, donde actualiza la composición y reducción drástica de la pobreza en la región, tal como indica la siguiente imagen.

Tabla 15: Comparativo Pobreza y Pobreza Extrema en Ancash

AÑO	2004	2005	2006	2007	META 2015
POBREZA	53.3%	48.4%	42.0%	42.6%	28.0%
POBREZA EXTREMA	23.3%	25.0%	20.8%	17.2%	12.5%

Fuente: Características de la Cuenca del río Santa. Villanueva R., 2011

El PBI de la región, también constituye otro indicador macroeconómico que nos indica la relevancia de esta actividad en la zona, para ellos se adjunta la evolución histórica en su composición en el siguiente cuadro:

Tabla 16: Estructura del PBI Real de Ancash

Sectores	1983-1987 (%)	2003 - 2007 (%)
Servicios	44	41
Minería	6	35
Manufactura	11	8
Agricultura	23	8
Construcción	6	5
Pesca	10	3
Total	100	100

Fuente: Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán 2010-2015.
Parque Nacional del Huascarán, 2010

Finalmente, con la finalidad de poder entender la magnitud de la actividad minera, se adjunta el mapa de la cuenca del río Santa, donde se indica las zonas de actividad minera, para gran minería y mediana minería. Asimismo, la **Figura 16** permitirá entender el histórico de pasivos mineros que se tienen a lo largo de la cuenca estudiada.

Esto nos permite concluir que la actividad está presente a lo largo de toda la cuenca.

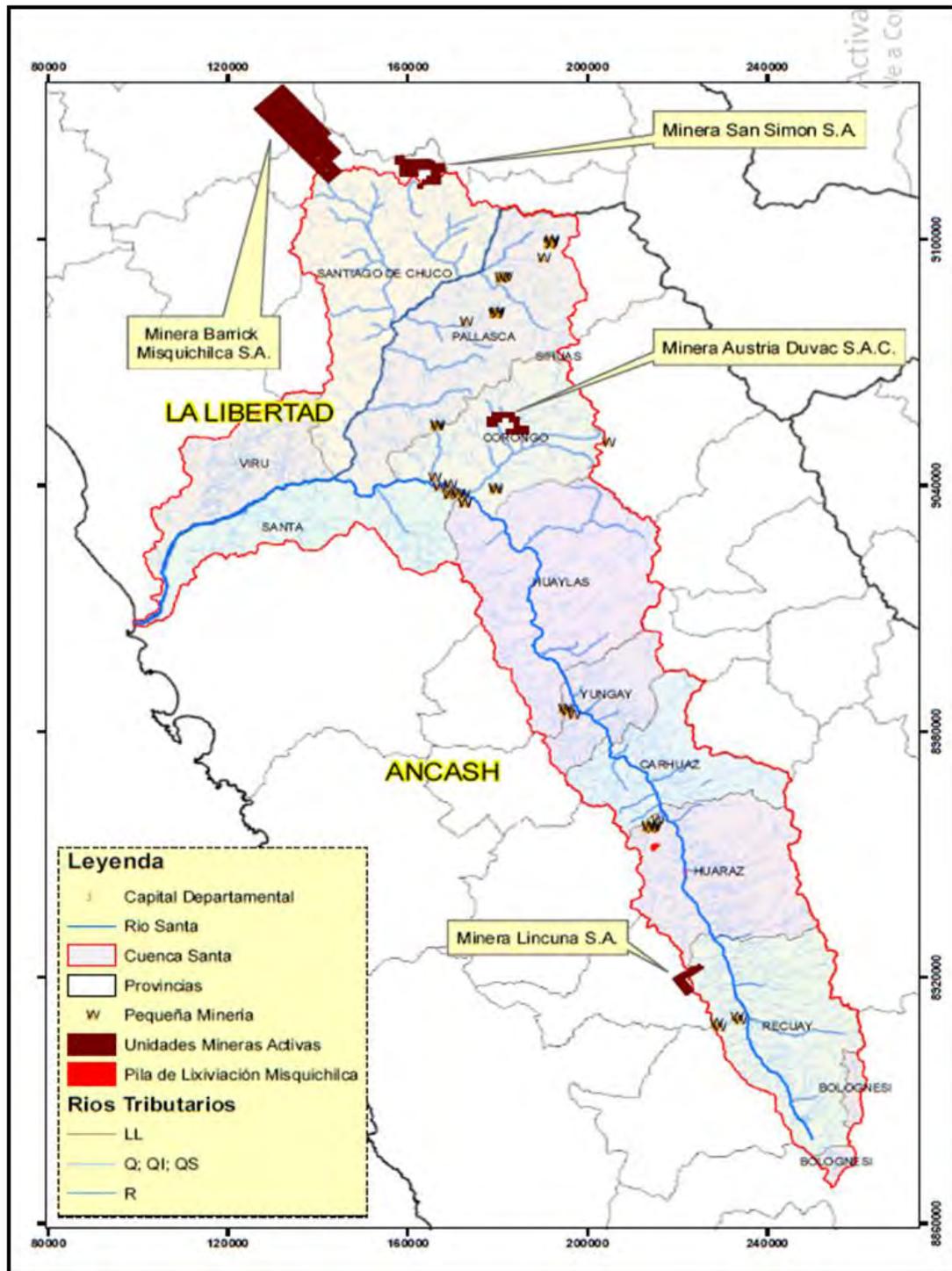


Figura 15: Unidades mineras en la cuenca del río Santa
 Fuente: Diagnóstico Hídrico de la Cuenca del río Santa. SEDALIB S.A., 2018

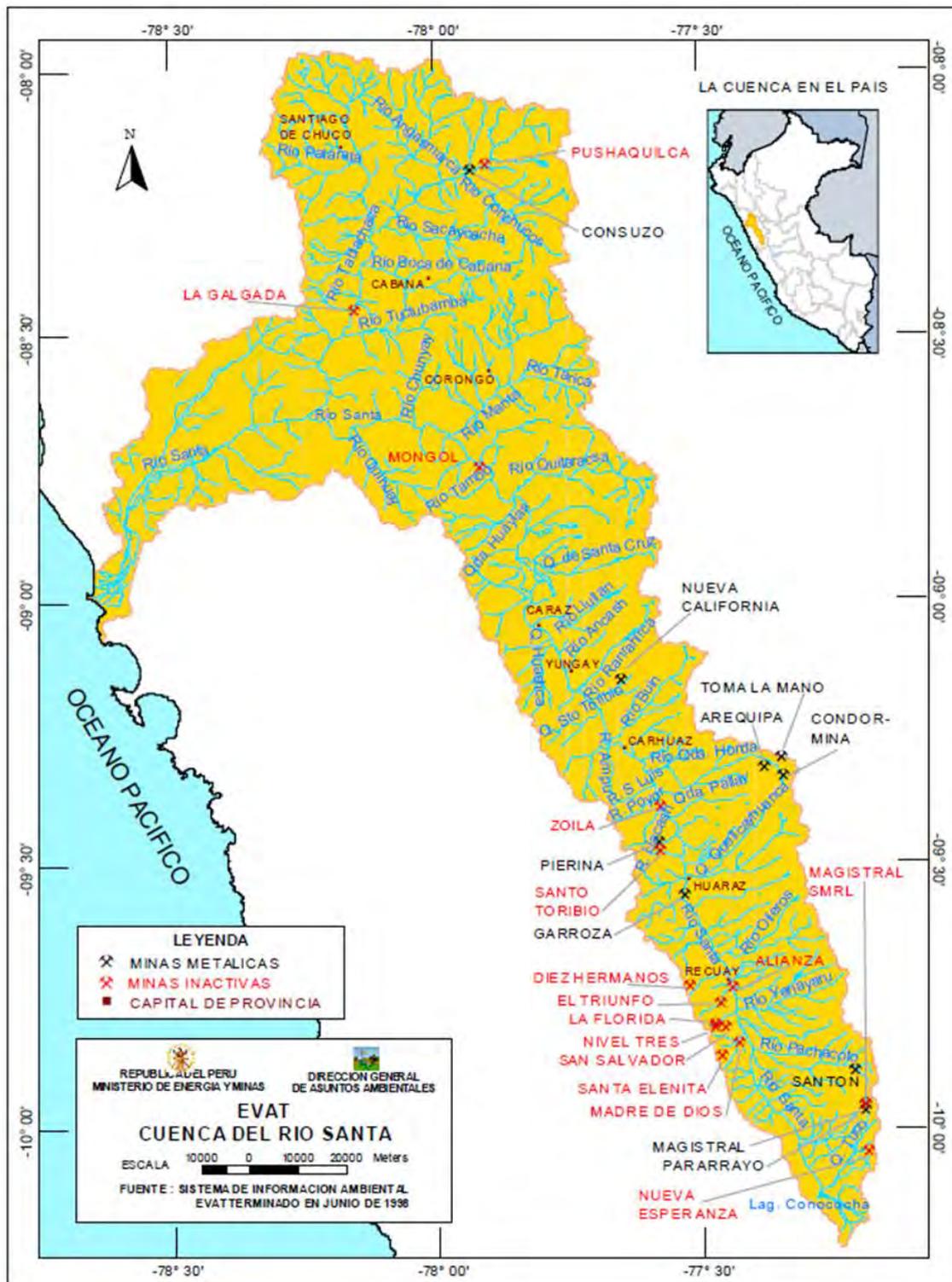


Figura 16: Pasivos mineros en la cuenca del río Santa
Fuente: Diagnóstico Hídrico de la Cuenca del río Santa. SEDALIB S.A., 2018

4. METODOLOGÍA

4.1. Materiales

Para poder realizar la presente investigación, se necesitó de los siguientes registros:

- Registros de la información hidrométrica de 3 estaciones: Parón, Llanganuco y Queracocho. En el **Figura 17**, se puede apreciar la ubicación de las estaciones sobre el área geográfica de la cuenca del río Santa.
- Mapa de ubicación de la cuenca del río Santa y de las unidades mineras activas y cercanas a la misma.

Tabla 17: Registro de estaciones hidrométricas

Estación Hidrométrica	Fuente de Información	Frecuencia	Periodos
PARÓN	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Caudales medios mensuales	1954 - 2003
LLANGANUCO	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Caudales medios mensuales	1954 - 2003
QUEROCOCHA	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Caudales medios mensuales	1954 - 2003

Fuente: Diagnóstico Hídrico de la Cuenca del río Santa. SEDALIB S.A., 2018

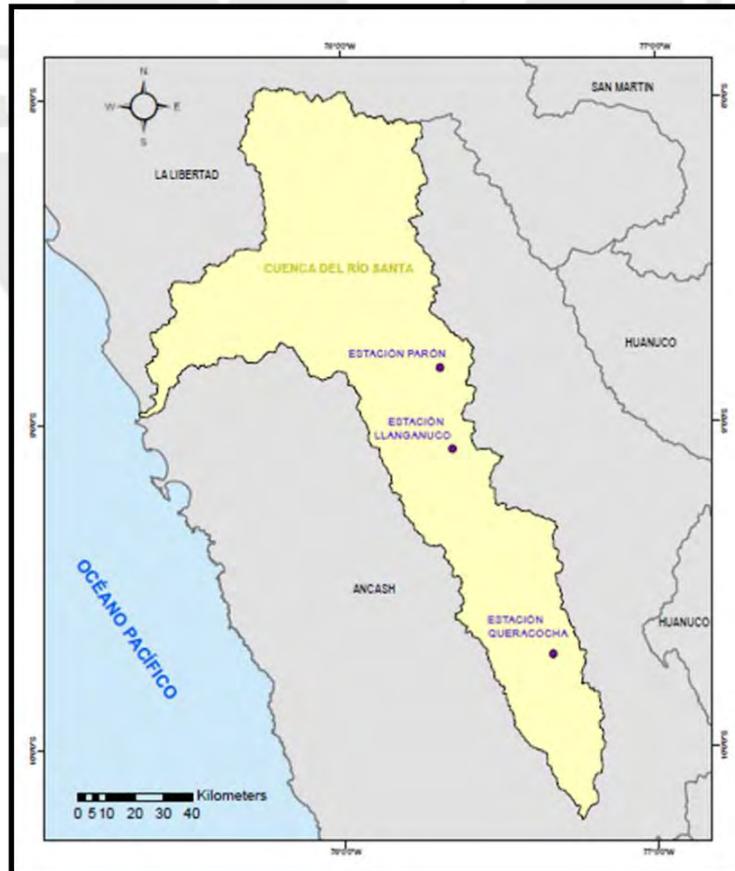


Figura 17: Ubicación de Estaciones Hidrográficas

Fuente: Elaboración propia

4.2. Fundamentos de la Metodología de Tennant

El método de Tennant constituye el método hidrológico más utilizado en los países en vías de desarrollo como México, Nepal y Chile. (Alcoser, 2014). Este método fue desarrollado en Estados Unidos (Stewardson, 2005) y es ampliamente utilizado en el planeamiento a nivel de cuencas hidrográficas.

Esta metodología, sigue los siguientes criterios:

1. El 10% del caudal medio anual es el mínimo recomendable para mantener un hábitat que permite en un corto plazo la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática (tanto flora como fauna).
2. El 30% del caudal medio anual es recomendable para mantener un hábitat adecuado para la supervivencia de las diversas formas de vida acuática.
3. El 60% del caudal medio anual es recomendable para generar un hábitat de características excelentes a excepcionales para la mayoría de las formas de vida acuática, durante los periodos de crecimiento iniciales (Maunder & Hindley 2005; Pryce, 2005).

En tal sentido, el método Tennant identifica diferentes niveles de caudales recomendados como adecuados “aptos” para la vida acuática con base en diversas proporciones de los caudales medios (Acreman & Dunbar 2004; Moore, 2004; Smakhtin, 2001; Stewardson, 2005), proporciona de manera rápida y económica una aproximación de los caudales ecológicos, considerando a estos como un porcentaje del caudal medio anual (Maunder & Hindley 2005; Pryce, 2005).

Esta metodología se basó en el resultado de numerosos estudios llevados a cabo durante 10 años en once ríos de los Estados de Montana, Nebraska y Wyoming (EE. UU.). Tennant estableció el principio empírico de que un mismo porcentaje del caudal medio anual crea unas condiciones de hábitat para peces cualitativamente similares en distintos tramos del río. Consecuentemente, propuso una relación cuantitativa entre porcentajes de Caudal Medio (Q_m) y la calidad de hábitat recomendado para la vida piscícola, recreo y los diversos usos del agua, partiendo de la afirmación de que el hábitat piscícola, se ve altamente degradado con valores del caudal inferior al 10% del caudal medio anual Q_m (Alcoser, 2014).

Tennant logró observar que la anchura de la lámina de agua, la profundidad y la velocidad del agua variaban en mayor medida al variar el caudal circulante entre los valores de 0 al 10% del Q_m . Siendo el 10% del Q_m el valor que cubre aproximadamente el 60% del máximo perímetro mojado (Alcoser, 2014).

También observó que un caudal equivalente al 10% del Qm proporcionaba profundidad y velocidades medias de 0.3 m/s y 0.23 m/s respectivamente, valores que consideraba estaban al límite de lo aceptable basándose en otros estudios realizados. También concluyó que el 30% del Qm creaba un hábitat suficiente para la supervivencia de la mayoría de las formas de vida acuática ya que proporcionaba anchura, profundidades y velocidades satisfactorias; y por otro lado la mayoría de las zonas poco profundas (rápidos y orillas arenosas), quedaban cubiertas con suficiente agua para que los peces adultos pudieran moverse entre ellas. Tennant concluyó que el 60% del Qm proporcionaba condiciones excelentes de hábitat (Alcoser, 2014).

Estas recomendaciones fueron obtenidas del análisis de cientos de regiones de caudales en una gran velocidad de tramos de río próximos a estaciones con aforo de diferentes regímenes de caudales. La información se obtuvo de 21 estados diferentes durante el periodo de 1959 a 1976 (Tennant, 1976), lo que a su vez sirvió para comprobarlo y verificarlo experimentalmente (Alcoser, 2014); tal como se muestra en la **Figura 18**.

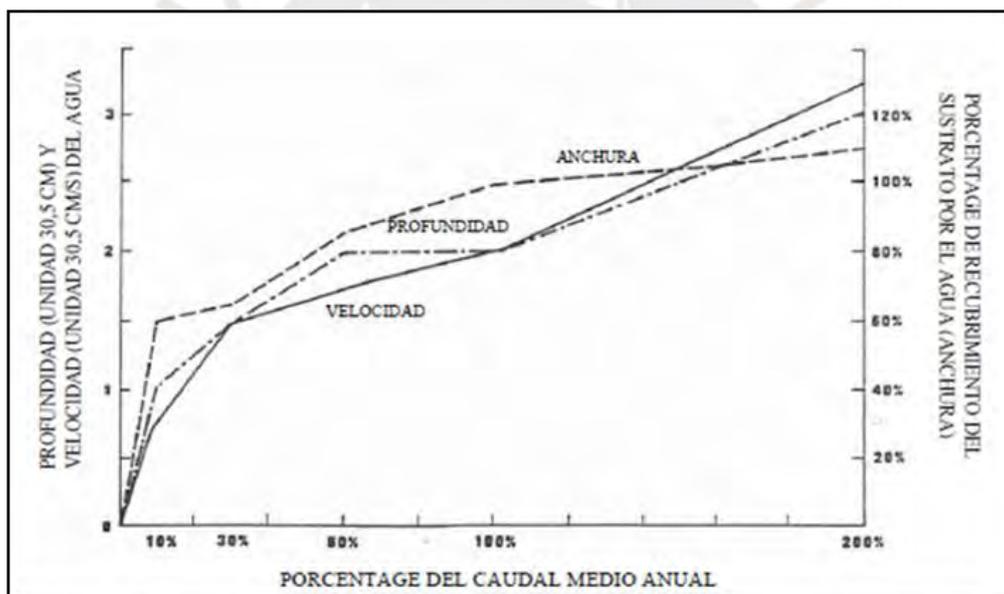


Figura 18: Porcentaje de caudal medio anual en el río Santa
Fuente: UICN, 2011

Una ventaja importante de este método es que el único dato que se necesita para su aplicación es el caudal medio anual, el cual se puede obtener fácilmente de manera sencilla a partir de los registros obtenidos por las estaciones hidrométricas de la red de aforo, o extrapolando valores ya conocidos de los ríos estudiados. Sin embargo, presenta una desventaja; al haber sido elaborado para ríos que poseen rangos medios de caudales, y al no tener en cuenta la variabilidad estacional del régimen de caudales en nuestros ríos, puede recomendar en algunos casos valores de caudales mínimos.

Estos valores son difíciles de defender ya que se ajustan a características específicas para cada río (en ciertos ríos, el 10% del caudal medio puede dar valores muy pequeños, mientras que, en ríos muy variables, el 30% puede dar valores excesivamente altos). De hecho, existen estudios que muestran que el método sobrestima las recomendaciones del caudal mínimo en ríos con gran variabilidad estacional. Aunque el autor concibió el método como una técnica para establecer caudales operativos en el tramo de un río, el método puede ser utilizado para justificar un amplio rango de caudales y las recomendaciones basadas en dicho rango no serán por lo tanto ni específicas para cada caso ni fácil de defender (Alcazar, 2007).

Según Tennant (1976), esta metodología establece los siguientes criterios:

1. Si se desea mantener un hábitat que permita la supervivencia de la mayoría de las formas de vida, en un corto plazo, se deberá de requerir un **mínimo del 10% del caudal medio anual**.
2. Para mantener un hábitat adecuado para la supervivencia de las diferentes formas de vida acuática del ecosistema, se recomienda contar con un caudal equivalente al **30% del caudal medio anual**.
3. Para mantener un hábitat de características con niveles excelentes a excepcionales para la mayoría de las formas de las formas de vida acuática que conforman el ecosistema, se recomienda contar con un caudal equivalente **al 60% del caudal medio anual**.

De esta manera, se puede apreciar que la metodología presentada; identifica y clasifica diferentes niveles de caudales recomendados como adecuados para el desarrollo y existencia de la vida acuática con base en diversas proporciones de caudales medios anuales (Acreman & Dunbar, 2004; Moore, 2004; Smakhtin, 2001; Stewardson, 2005).

Es válido agregar que los métodos hidrológicos, como lo es el caso del método Tennant, no consideran aspectos ecológicos y en su formulación no tienen en cuenta los efectos que podría causar sobre un determinado hábitat el régimen de caudales ecológicos adoptado. Sin embargo, su utilidad radica en el hecho de su sencilla aplicación y que, en situaciones de escasez de registro de otras variables hidráulicas y geomorfológicas, permitirá una primera aproximación del valor del caudal ecológico requerido para el hábitat estudiado (Perales, 2010).

Esta metodología fue desarrollada por Tennant en Estados Unidos con la finalidad de poder aplicarla en la planificación a largo plazo de la piscicultura en el país norteamericano. Para ello, Tennant llevó a cabo una serie de observaciones personales realizadas no solo en Montana, sino también en el Medio Oeste con la finalidad de poder clasificar las corrientes

de acuerdo a las variaciones de calidad del hábitat de la trucha (especie escogida para su estudio) dependiendo de los caudales que cruzaban por su cauce. Es así como este método se puede resumir de manera sencilla en un enunciado: *“Determinar un valor de caudal mínimo expresado como un porcentaje del caudal medio anual que sustente la calidad de hábitat para los peces dentro de un determinado ecosistema (ríos)”* (Alcoser, 2014).

El método Tennant está basado en un estudio realizado por la US Fish and Wildlife, institución que necesitó la información de 12 ríos de Estados Unidos, de manera específica de 3 estados puntuales: Montana, Nebraska y Wyoming. Se tuvo como objetivo determinar una relación entre el caudal circulante y la disponibilidad de hábitat para el desarrollo de un ecosistema biótico-acuático. Esta metodología (Tennant, 1976) divide el año en dos estaciones: Seca y lluviosa. Para ambas estaciones se proponen valores de caudales expresados como porcentajes del Caudal Medio Anual (CMA). Es esta clasificación, la que determinó que a valores inferiores al 10% del flujo medio anual, el hábitat empezaría a degradarse de manera progresiva. Cabe resaltar que, pese a estas desventajas, esta metodología constituye la metodología hidrológica más aplicada a nivel mundial, por al menos 25 países (Tharme, 2003).

Como se mencionó anteriormente, el método Tennant se dividió para dos estaciones: seca y lluvioso. Estas fechas y meses variarán de acuerdo con la zona que se esté estudiando. En la siguiente tabla se muestra el rango de valores, expresados en porcentaje del caudal medio anual, con el cual Tennant realizó la clasificación inicial:

Tabla 18: Regímenes de ríos expresados en porcentaje con respecto al Caudal Medio Anual

Description of flows	Recommended base flow regimens (percent of mean annual runoff)	
	October–March	April–September
Flushing or maximum	200	200
Optimum range	60–100	60–100
Outstanding	40	60
Excellent	30	50
Good	20	40
Fair or degrading	10	30
Poor or minimum	10	10
Severe degradation	<10	<10

Fuente: The Tennant Method, 1976

4.3. Desarrollo de la Metodología

Para poder estimar el valor del Caudal Ecológico en la cuenca del río Santa fueron necesarias una serie de pasos, siguiendo el orden establecido por el método Tennant. A continuación, se describen las etapas del proceso de obtención de resultados:

- A. La primera tarea consistió en ordenar la información recolectada de las Estaciones Hidrométricas, para ello se hizo uso de las hojas de cálculo de Excel. Se debe comprobar la consistencia de esta data, con este fin, se aplicaron pruebas de análisis gráfico de hidrogramas y pruebas estadísticas, las mismas que se corrigen debido a la eventual presencia de errores sistemáticos. Determinaremos si las mediciones/resultados de las estaciones son significativos mediante el análisis de varianza: Prueba ANOVA.
- B. Una vez que se ha procesado toda la data y se tiene verificada la homogeneidad de los caudales medio anuales, se procederá a dividir la data de cada estación hidrométrica en 2 periodos; es decir, las estaciones Parón, Llanganuco y Queracocha se analizarán para un primer tramo espacial que consistirá en los años de 1954 a 1978 y el segundo, de 1979 a 2003. Ambos grupos abarcarán un periodo de 25 años.
- C. Se procede a aplicar la Curva de Caudales Clasificados (CCC) también conocida como Curva de Duración de Caudales (CDC) mediante la probabilidad de excedencia.
- D. Para cada conjunto de años (periodo de años), se determinará el caudal medio mensual, caudal medio anual, valores máximos y mínimos de régimen, promedio, desviación estándar, coeficiente de variabilidad y se generaran las respectivas gráficas.
- E. Para cada uno de estos periodos se determinará el Caudal Ecológico aplicando la metodología de Tennant o Método Montana.
- F. Además, se determinará los Caudales Ecológicos Referenciales. En este caso, se utilizará lo establecido por la máxima autoridad competente en materia de gestión del recurso hídrico: el ANA.
- G. Finalmente, se compararán los valores de los caudales referenciales con los obtenidos en Montana y se realizan las respectivas conclusiones y apreciaciones del estudio.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis de Consistencia de Información de Estaciones Hidrométricas

Toda la data correspondiente a los registros de caudales mensuales de los años trabajados se obtuvo en base al levantamiento realizado en campo por la empresa Duke Energy International, la cual realizó el informe “Actualización de la información hidrológica de las Centrales Hidrológicas de Cañón del Pato y Carhuaquero”, redactado con el objetivo de recalcular la potencia garantizada por las centrales hidroeléctricas a DEI-Egenor. El registro de mediciones de flujos mensuales a lo largo del periodo que abarca desde 1954 – 2003, se presenta en los **Anexos 2, 3 y 4**.

Para el análisis de la consistencia de la data se aplicaron revisiones por medio de:

- Análisis Visual de Hidrogramas
- Análisis Estadístico (prueba ANOVA)

5.1.1. Análisis Visual de Hidrogramas

a) Estación Parón:

El análisis del gráfico nos muestra que los niveles de variación de los caudales promedio anuales son moderados, en muchos casos, incluso mínimos (**Figura 19a**). Es por ello que se puede hablar de una estabilidad en los valores registrados. Esto permitirá obtener resultados confiables cuando se aplique el método de Tennant en la presente estación hidrométrica; pese a ello, para una precisión más exacta, se determinará la consistencia de los datos con el análisis estadístico.

b) Estación Llanganuco:

Esta estación, presenta niveles de variación de los caudales promedio anuales mayores al de la estación Parón (**Figura 19b**). La variación es moderada; sin embargo, aún se encuentra en el umbral de data que se puede considerar como información que generará un resultado confiable. Además, es necesario aplicar el análisis estadístico para determinar la consistencia de la media y la desviación estándar.

c) Estación Queracoha:

Esta estación presenta valores de caudales promedio anuales estables en los primeros años (1954-1990), es en los últimos años (1991-2003) presenta una variación del caudal medio anual que es moderada, pero aún permite trabajar con una gran exactitud (**Figura 19c**). Se deberá determinar la consistencia de la media y la desviación estándar para los datos de esta estación.

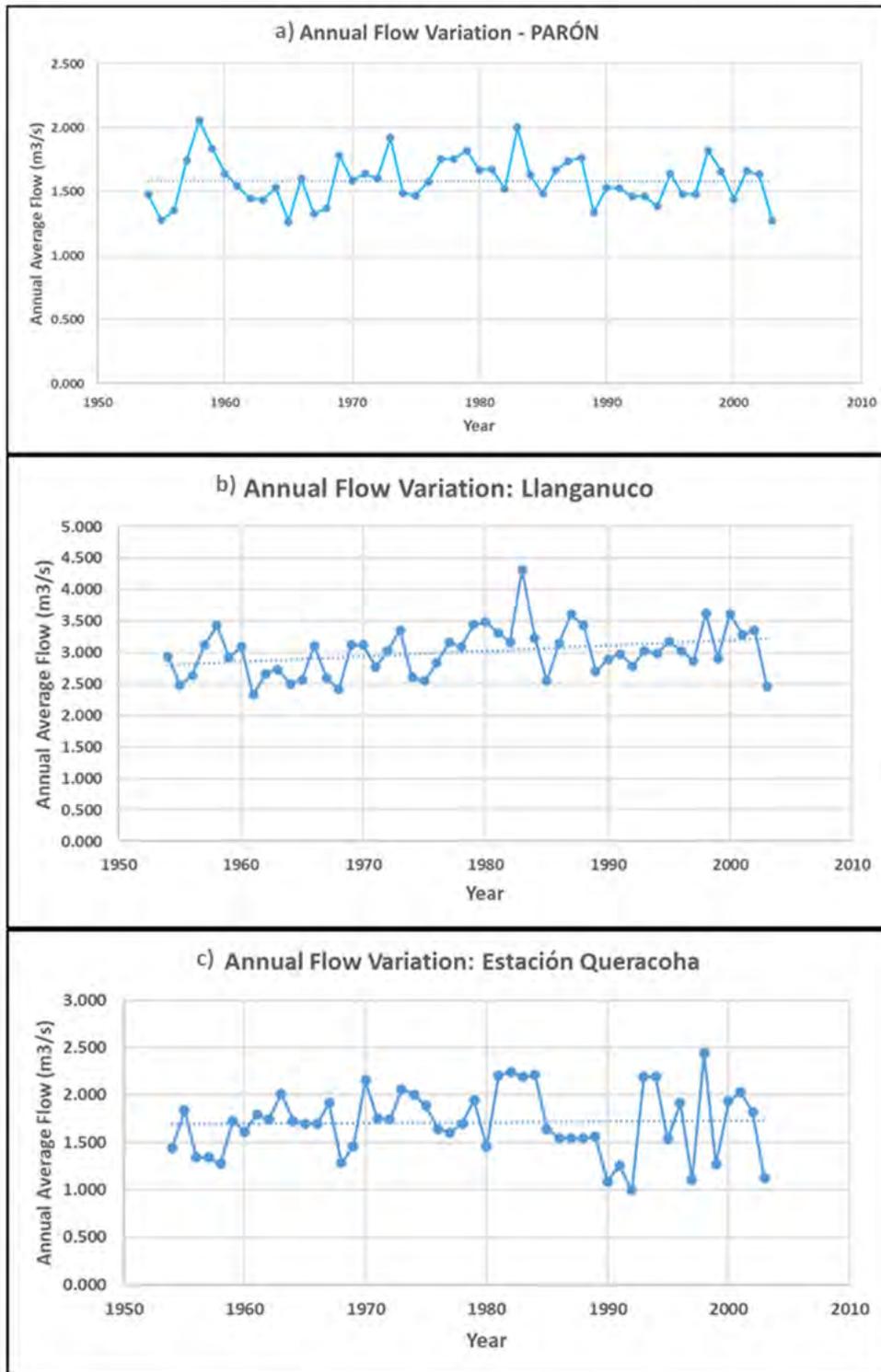


Figura 19: Variación de los caudales promedio anuales de los caudales de las estaciones en estudio en el periodo 1954-2013.
Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Análisis Estadístico (Prueba ANOVA)

a) Estación Parón

Se realizó el análisis estadístico de consistencia de la media y de la desviación estándar de la serie de caudales medio mensuales para el periodo de 1954 a 2003; el procedimiento se detalla a continuación y es válido recalcar que se trabajó con dos periodos de tiempo: 1954 – 1978 y 1979 - 2003, los cuales serán los mismos a utilizar para las demás estaciones.

Se detalla el proceso de análisis estadístico:

- **Consistencia de la Media**

- Se comienza con el planteamiento de la hipótesis (H), la cual enuncia que la media de ambos periodos (n_1 y n_2) son iguales, es decir, $\mu_1 - \mu_2 = 0$.

- I) Media

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad y \quad \bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j$$

- II) Desviación Estándar

$$S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \quad y \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2-1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2}$$

- Es así como para la estación Parón se tendrá:

$$\text{Periodo } n_1: \quad \bar{x}_1 = 1.579$$

$$S_1(x) = 0.201$$

$$\text{Periodo } n_2: \quad \bar{x}_2 = 1.590$$

$$S_2(x) = 0.167$$

- Determinación del t_c ("**t**" calculado); para ello será necesario aplicar las siguientes fórmulas:

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2}$$

$$S_d = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2}$$

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_d}$$

- Reemplazando en las fórmulas con los valores de media y desviación estándar hallado para cada grupo, se tendrá:

$$S_p = 0.185 ; S_d = 0.052 \text{ y } t_c = -0.210$$

- Lo siguiente será determinar el valor de **t tabular (t_t)**, el cual se obtiene a partir de la tabla de T de Student (o para una mayor exactitud, haciendo uso del Software Excel). con una probabilidad de 95 por ciento o con un nivel de significación del cinco por ciento; esto es $\alpha/2 = 0.025$ y con 48 grados de libertad ($v = n_1 + n_3 - 2 = 25 + 25 - 2 = 48$). Se tendrá así:

$$t_t = 2.0106$$

- Se procede a comparar ambos valores, se debe cumplir que:

$$|t_c| \leq t_t$$

- Para este primer caso, se tiene que:

$$0.210 \leq 2.0106$$

Se comprueba que las medias \bar{x}_1 y \bar{x}_2 son estadísticamente iguales para el presente trabajo y por lo tanto no se debe de realizar una corrección. No se rechaza la hipótesis nula.

- **Consistencia de la Desviación Estándar**

- De manera análoga al ejercicio anterior, se comienza con el planteamiento de la hipótesis (H), la cual enuncia que las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son iguales, es decir, $S_1^2(x) - S_2^2(x) = 0$.
- Asimismo, se plantea la hipótesis nula (H_0); donde las varianzas de ambos periodos son diferentes, es decir, $S_1^2(x) \neq S_2^2(x)$.
- Se detallan cuáles son las fórmulas necesarias para hallar las varianzas de ambos grupos de datos:

$$S_1^2(x) = \left(\frac{1}{n_1-1}\right) \sum_{i=1}^{n_i} (x_i - \bar{x}_1)^2 \text{ y } S_2^2(x) = \left(\frac{1}{n_2-1}\right) \sum_{j=1}^{n_j} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

- Es con ayuda de estas fórmulas que se obtuvieron los siguientes valores:

$$S_1^2(x) = 0.0405$$

$$\text{y } S_2^2(x) = 0.0277$$

- Se procede con la determinación del F calculado (F_c), según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}$$

- De esta manera se obtiene:

$$F_c = 1.4630$$

- Lo siguiente será determinar el valor de **F tabular (F_t)**, el cual se obtiene a partir de la tabla de F de Fisher; para ello se tendrá una probabilidad de 95%, es decir, un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Con ayuda del Software Excel y la herramienta análisis de datos podemos obtener el valor exacto de F_t .

$$F_t = 1.9837$$

- Se procede a comparar ambos valores:

$$|F_c| \leq F_t$$

$$1.4630 \leq 1.9837$$

Se comprueba que las desviaciones estándar $S_1^2(x)$ y $S_2^2(x)$ son estadísticamente iguales para el presente trabajo y no se debe de realizar ningún tipo de corrección.

b) Estación Llanganuco

Se realizó el análisis estadístico de consistencia de la media y de la desviación estándar de la serie de caudales medio mensuales para el periodo de 1954 a 2003; para ello se consideraron 2 periodos, $n_1 = 25$ (abarca desde enero de 1954 hasta diciembre de 1978) y $n_2 = 25$ (abarca desde enero de 1979 hasta diciembre de 2003).

A continuación, se detalla el proceso de análisis estadístico:

• Consistencia de la Media

- Se comienza con el planteamiento de la hipótesis (H), la cual enuncia que la media de ambos periodos (n_1 y n_2) son iguales, es decir, $\mu_1 - \mu_2 = 0$.
- Asimismo, se define la hipótesis nula: (H_0): $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$
- Se detallan cuáles son las fórmulas necesarias para hallar la media y la desviación estándar del conjunto de datos:

l) Media

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad \text{y} \quad \bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j$$

II) Desviación Estándar

$$S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \quad \text{y} \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2-1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2}$$

- Es así como para la estación Llanganuco, haciendo uso de los regímenes detallados en el **Anexo 3** y de las fórmulas listadas, se tendrá:

$$\text{Periodo } n_1: \quad \bar{x}_1 = 2.847$$

$$S_1(x) = 0.305$$

$$\text{Periodo } n_2: \quad \bar{x}_2 = 3.132$$

$$S_2(x) = 0.389$$

- Determinación del t_c ("**t**" calculado), para ello será necesario aplicar las siguientes fórmulas:

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2}$$

$$S_d = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2} \quad \text{y} \quad t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_d}$$

- Reemplazando en las fórmulas con los valores de la media y la desviación estándar hallado para cada grupo, se obtendrá:

$$S_p = 0.349 ; \quad S_d = 0.099 \quad \text{y} \quad t_c = -2.883$$

- Lo siguiente será determinar el valor de **t tabular (t_t)**, el cual se obtiene a partir de la tabla de T de Student, con una probabilidad de 95 por ciento o con un nivel de significación del cinco por ciento; esto es $\alpha/2 = 0.025$ y con 48 grados de libertad ($v = n_1 + n_2 - 2 = 25 + 25 - 2 = 48$).

De la intersección de estos valores en la tabla t de Student, se obtuvo:

$$t_t = 2.0106$$

- Se procede a comparar ambos valores, se debe cumplir que:

$$|t_c| \leq t_t$$

- Sin embargo, se tiene que:

$$2.883 \geq 2.0106$$

Vemos que no se cumple el enunciado; por ello, habrá que realizar una corrección de la data. Se rechaza la hipótesis nula.

- Dado que la hipótesis ha sido rechazada, no será necesario realizar la consistencia de la desviación estándar, pues esta no será congruente.
- Se tendrán que hacer las correcciones necesarias para la data. Haremos uso de la ecuación:

$$X'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}'_1}{S_1(x)} * S_2(x) + \bar{x}_2$$

- La corrección de la data se hizo en el Software Excel para el primer grupo de datos (n_1); con esta corrección, tanto la media como desviación estándar del primer conjunto de datos, será igual al del segundo; por ello, ambos conjuntos de datos serán congruentes y están listos para poder trabajar. El resultado del conjunto de datos ya corregidos se puede apreciar en el **Anexo 3: Caudales Medios Mensuales. Periodo 1954-2003. Estación Llanganuco (corregidos)**, correspondiente a la información provista para trabajar con Llanganuco.

c) Estación Queracocho

Se realizó el análisis estadístico de consistencia de la media y de la desviación estándar de la serie de caudales medio mensuales para el periodo de 1954 a 2003; el procedimiento es análogo a los dos anteriores.

Se detalla el proceso de análisis estadístico.

• Consistencia de la Media

- Se comienza con el planteamiento de la hipótesis (H), la cual enuncia que la media de ambos periodos (n_1 y n_2) son iguales, es decir, $\mu_1 - \mu_2 = 0$.

I) Media

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad y \quad \bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j$$

II) Desviación Estándar

$$S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \text{ y } S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2-1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2}$$

- Es así que para la estación Queracocha se tendrá:

$$\text{Periodo } n_1: \quad \bar{x}_1 = 1.698$$

$$S_1(x) = 0.242$$

$$\text{Periodo } n_2: \quad \bar{x}_2 = 1.741$$

$$S_2(x) = 0.457$$

- Determinación del t_c ("**t**" calculado); para ello será necesario aplicar las siguientes fórmulas:

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2}$$

$$S_d = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2}$$

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_d}$$

- Reemplazando en las fórmulas con los valores de media y desviación estándar hallado para cada grupo, se tendrá:

$$S_p = 0.365 \text{ ; } S_d = 0.103 \text{ y } t_c = -0.415$$

- Lo siguiente será determinar el valor de **t Tabular (t_t)**, el cual se obtiene a partir de la tabla de T de Student (o para una mayor exactitud, haciendo uso del Software Excel). con una probabilidad de 95 por ciento o con un nivel de significación del cinco por ciento; esto es $\alpha/2 = 0.025$ y con 48 grados de libertad ($v = n_1 + n_2 - 2 = 25 + 25 - 2 = 48$). Se tendrá así:

$$t_t = 2.0106$$

- Se procede a comparar ambos valores, se debe cumplir que:

$$|t_c| \leq t_t$$

- Sin embargo, se tiene que:

$$0.415 \leq 2.0106$$

Se comprueba que las medias \bar{x}_1 y \bar{x}_2 sí son estadísticamente iguales para el presente trabajo y no se debe de realizar corrección alguna. No se rechaza la hipótesis nula.

- **Consistencia de la Desviación Estándar**

- De manera análoga al ejercicio anterior, se comienza con el planteamiento de la hipótesis (H), la cual enuncia que las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son iguales, es decir, $S_1^2(x) - S_2^2(x) = 0$.
- Asimismo, se plantea la hipótesis nula (H_0); donde las varianzas de ambos periodos son diferentes, es decir, $S_1^2(x) \neq S_2^2(x)$.
- Se detallan cuáles son las fórmulas necesarias para hallar las varianzas de ambos grupos de datos:

$$S_1^2(x) = \left(\frac{1}{n_1-1}\right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \quad \text{y} \quad S_2^2(x) = \left(\frac{1}{n_2-1}\right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

- Es con ayuda de estas fórmulas que se obtuvieron los siguientes valores:

$$S_1^2(x) = 0.0586$$

$$\text{y} \quad S_2^2(x) = 0.2088$$

- Se procede con la determinación del F calculado (F_c), según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}$$

- De esta manera se obtiene:

$$F_c = 0.2807$$

- Lo siguiente será determinar el valor de **F tabular (F_t)**, el cual se obtiene a partir de la tabla de F de Fisher; para ello se tendrá una probabilidad de 95%, es decir, un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Con ayuda del Software Excel y la herramienta análisis de datos podemos obtener el valor exacto de F_t .

$$F_t = 1.9837$$

- Se procede a comparar ambos valores:

$$|F_c| \leq F_t$$

$$0.2807 \leq 1.9837$$

Se comprueba que las desviaciones estándar $S_1^2(x)$ y $S_2^2(x)$ son estadísticamente iguales para el presente trabajo y no se debe de realizar ningún tipo de corrección.

En la siguiente tabla se muestra un resumen en los valores obtenidos en esta primera parte del análisis.

Tabla 19: Resumen de los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico ANOVA

Consistencia de:	Estación Parón	Estación Llanganuco	Estación Queracocha
Media ($t_c \leq t_t$)	$0.210 \leq 2.0106$	$2.883 \geq 2.0106$	$0.415 \geq 2.0106$
Desviación Estándar ($F_c \leq F_T$)	$1.4630 \leq 1.9837$	Hipótesis Rechazada	$0.2807 \leq 1.9837$

Fuente: Elaboración propia

5.2. Determinación del Caudal Ecológico – Metodología de Tennant

Se dividió el periodo de 50 años en dos sub-periodos menores, cada uno con una duración de 25 años que es aplicable para las 3 estaciones hidrométricas analizadas. Así se obtuvieron los rangos de 1954 a 1978 y de 1979 a 2003.

De todo este conjunto de datos, el cual podrá apreciar a mayor detalle en los **Anexos 2, 3 y 4**, fue necesario obtener el promedio, valor máximo, valor mínimo, Desviación Estándar y análisis de consistencia de Media y Desviación Estándar.

El método de Tennant nos indica que el **10%** del flujo medio anual es el recomendable para mantener el hábitat que permite no solo la supervivencia y desarrollo del ecosistema de la zona, sino también, asegura la continuidad de actividades económicas en la zona como lo son la agricultura y la ganadería. Cuando el flujo es inferior al 10% del valor promedio anual, el hábitat y/o ecosistema empieza a degradarse causando la pérdida de flora y fauna y poniendo en peligro la sostenibilidad del ecosistema. En la siguiente tabla se muestra el formato y/o clasificación que se tendrá del Caudal Ecológico:

Tabla 20: Clasificación de Caudal Ecológico

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA						
MESES	CAUDAL NATURAL (m ³ /s)			CLASIFICACIÓN CAUDAL ECOLÓGICO (m ³ /s)		
	Mínimo	Máximo	Promedio	MÍNIMO	ACEPTABLE	EXCELENTE
ENERO	Qmín1	Qmáx1	Qprom1	10%Qprom	30%Qprom	60%Qprom
FEBRERO	Qmín2	Qmáx2	Qprom2			
MARZO	Qmín3	Qmáx3	Qprom3			
ABRIL	Qmín4	Qmáx4	Qprom4			
MAYO	Qmín5	Qmáx5	Qprom5			
JUNIO	Qmín6	Qmáx6	Qprom6			
JULIO	Qmín7	Qmáx7	Qprom7			
AGOSTO	Qmín8	Qmáx8	Qprom8			
SEPTIEMBRE	Qmín9	Qmáx9	Qprom9			

OCTUBRE	Qmín10	Qmáx10	Qprom10			
NOVIEMBRE	Qmín11	Qmáx11	Qprom11			
DICIEMBRE	Qmín12	Qmáx12	Qprom12			
PROMEDIO (m³/s)			Qprom			

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se colocará para estación hidrométrica, el valor de Caudal Ecológico Mínimo o Aceptable; Bueno y Excelente, en base a lo hallado por la data hidrológica.

A) ESTACIÓN PARÓN:

Se construye la **Tabla 21**, en base a los valores obtenidos en cálculos anteriores. Esto permite determinar los 3 niveles correspondientes a la clasificación de Caudal Ecológico, ello en base a la distribución de registros mensuales.

Tabla 21: Niveles de Caudal Ecológico - Estación Parón

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PARÓN						
MESES	CAUDAL NATURAL (m³/s)			CLASIFICACIÓN CAUDAL ECOLÓGICO (m³/s)		
	Mínimo	Máximo	Promedio	MÍNIMO	ACEPTABLE	EXCELENTE
ENERO	1.21	3.41	2.16	0.158	0.475	0.951
FEBRERO	1.56	3.10	2.31	0.158	0.475	0.951
MARZO	1.68	2.95	2.36	0.158	0.475	0.951
ABRIL	1.47	2.78	2.19	0.158	0.475	0.951
MAYO	1.03	2.35	1.73	0.158	0.475	0.951
JUNIO	0.99	1.81	1.30	0.158	0.475	0.951
JULIO	0.75	1.48	1.02	0.158	0.475	0.951
AGOSTO	0.66	1.30	0.91	0.158	0.475	0.951
SEPTIEMBRE	0.61	1.36	0.96	0.158	0.475	0.951
OCTUBRE	0.61	1.43	1.05	0.158	0.475	0.951
NOVIEMBRE	0.84	1.84	1.31	0.158	0.475	0.951
DICIEMBRE	1.17	2.56	1.72	0.158	0.475	0.951
PROMEDIO (m³/s)			1.58			

Fuente: Elaboración propia

Esta clasificación permitirá realizar las gráficas y curvas comparativas que permitirán tener así una mejor versión del comportamiento actual del caudal.

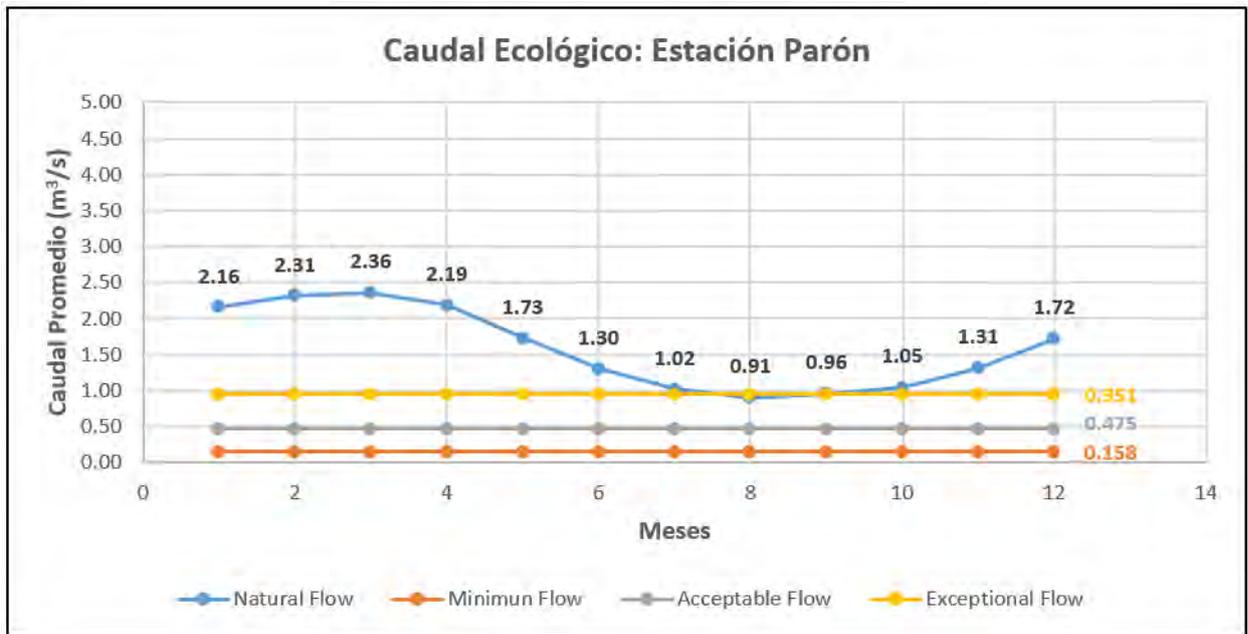


Figura 20: Curvas de Caudal Ecológico - Estación Parón
Fuente: Elaboración propia

De la gráfica podemos apreciar que los valores correspondientes al Caudal Natural (Natural Flow), se encuentran por encima de las 3 categorías de C.E. recomendables; siendo incluso superior a los valores correspondientes al Nivel “Excelente”.

Se logra apreciar que ninguno de los meses dentro del periodo analizado, conllevaron al flujo del río hacia valores mínimos que lo pusieran en condiciones de peligro del ecosistema. El gráfico muestra valores altos (picos) y un descenso, valores bajos, lo cual deja apreciar la gran diferencia entre temporada seca y húmeda; ambas muy bien definidas en la **Figura 20**.

B) ESTACIÓN LLANGANUCO:

Se construye la **Tabla 22**, en base a los valores obtenidos con los cálculos realizados como parte de la metodología de Tennant. Esto permite determinar los 3 niveles correspondientes a la clasificación de Caudal Ecológico, ello en base a la distribución de registros mensuales.

Tabla 22: Niveles de Caudal Ecológico - Estación Llanganuco

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA LLANGANUCO						
MESES	CAUDAL NATURAL (m³/s)			CLASIFICACIÓN CAUDAL ECOLÓGICO (m³/s)		
	Mínimo	Máximo	Promedio	MÍNIMO	ACEPTABLE	EXCELENTE
ENERO	2.08	5.98	3.94	0.313	0.939	1.879
FEBRERO	2.56	6.23	4.28	0.313	0.939	1.879

MARZO	2.73	6.72	4.52	0.313	0.939	1.879
ABRIL	2.42	5.80	3.74	0.313	0.939	1.879
MAYO	1.96	3.87	2.67	0.313	0.939	1.879
JUNIO	1.33	3.25	2.18	0.313	0.939	1.879
JULIO	1.34	3.70	2.00	0.313	0.939	1.879
AGOSTO	1.34	3.25	1.99	0.313	0.939	1.879
SEPTIEMBRE	1.12	3.57	1.96	0.313	0.939	1.879
OCTUBRE	1.22	3.70	2.22	0.313	0.939	1.879
NOVIEMBRE	1.84	5.00	2.88	0.313	0.939	1.879
DICIEMBRE	2.17	4.97	3.48	0.313	0.939	1.879
PROMEDIO (m³/s)			2.99			

Fuente: Elaboración propia

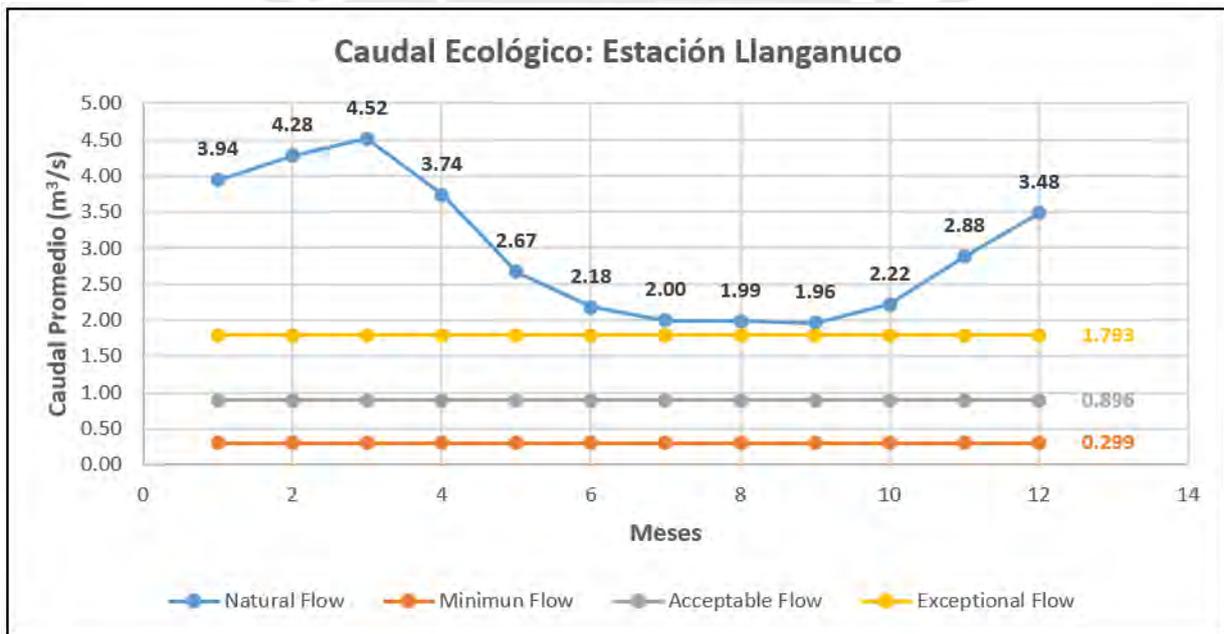


Figura 21: Curvas de Caudal Ecológico - Estación Llanganuco

Fuente: Elaboración propia

De la gráfica podemos apreciar que los valores correspondientes al Caudal Natural (Natural Flow), se encuentran por encima de las 3 categorías de C.E. recomendables; siendo incluso superior a los valores correspondientes a Excelente; comportamiento que se repite en la estación Parón.

Se logra apreciar que ninguno de los meses dentro del periodo analizado, conllevaron al flujo del río a valores mínimos que lo pusieran en condición es de peligro del ecosistema. El hidrograma muestra valores altos (con un máximo de **4.568 m³/s**) y un descenso, que alcanza un mínimo de **1.968 m³/s**; ello muestra la gran diferencia entre temporada seca y húmeda; ambas muy bien definidas en las curvas representadas en la **Figura 21**.

C) ESTACIÓN QUERACOCHA:

Se construye la **Tabla 23**, en base a los valores obtenidos con los cálculos realizados como parte de la metodología de Tennant. Esto permite determinar los 3 niveles correspondientes a la clasificación de Caudal Ecológico, ello en base a la distribución de registros mensuales.

Tabla 23: Niveles de Caudal Ecológico - Estación Queracocha

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA QUERACOCHA						
MESES	CAUDAL NATURAL (m ³ /s)			CLASIFICACIÓN CAUDAL ECOLÓGICO (m ³ /s)		
	Mínimo	Máximo	Promedio	MÍNIMO	ACEPTABLE	EXCELENTE
ENERO	0.59	4.93	2.63	0.172	0.516	1.032
FEBRERO	1.33	10.90	3.72	0.172	0.516	1.032
MARZO	1.03	5.89	3.70	0.172	0.516	1.032
ABRIL	0.75	3.90	2.45	0.172	0.516	1.032
MAYO	0.66	2.31	1.24	0.172	0.516	1.032
JUNIO	0.43	1.26	0.66	0.172	0.516	1.032
JULIO	0.25	0.79	0.46	0.172	0.516	1.032
AGOSTO	0.25	0.74	0.45	0.172	0.516	1.032
SEPTIEMBRE	0.30	1.04	0.62	0.172	0.516	1.032
OCTUBRE	0.64	1.89	1.12	0.172	0.516	1.032
NOVIEMBRE	0.85	3.52	1.52	0.172	0.516	1.032
DICIEMBRE	0.78	4.51	2.06	0.172	0.516	1.032
PROMEDIO (m³/s)			1.72			

Fuente: Elaboración propia

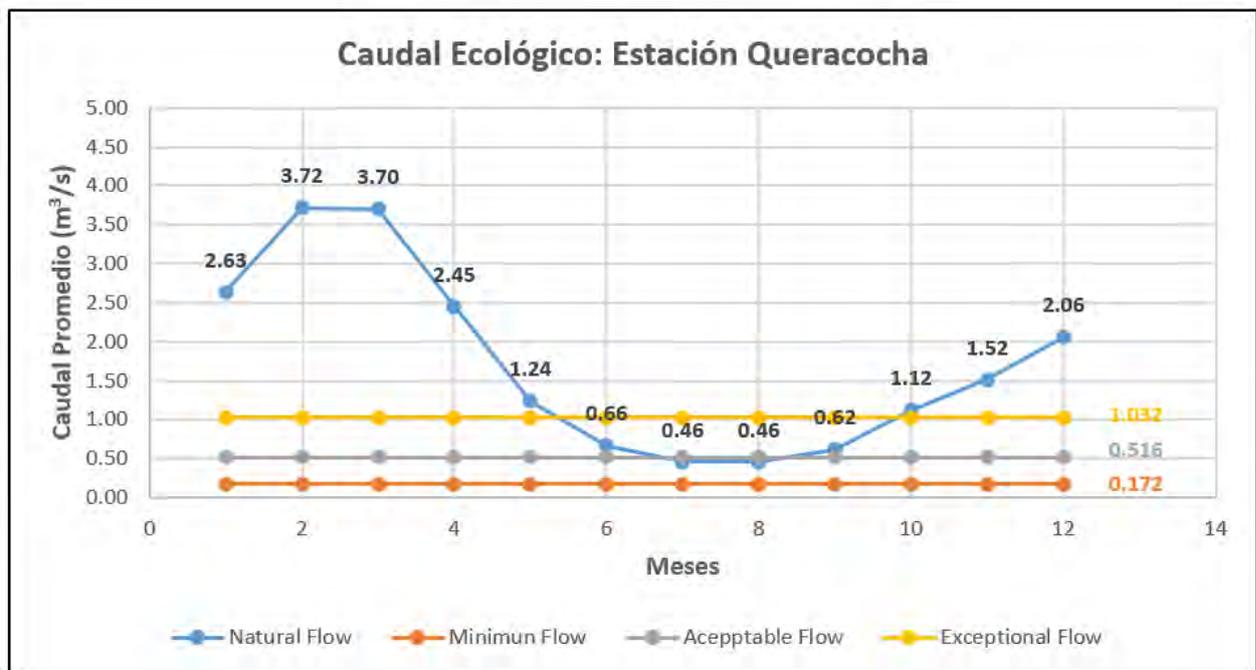


Figura 22: Curvas de Caudal Ecológico - Estación Queracocha
Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido en la estación Queracocha es ligeramente diferente a lo que ocurre en Parón y Llanganuco. La gráfica muestra que, si bien es cierto, no se registran valores debajo del límite aceptable de 10%, se tiene que, para los meses entre junio y setiembre, se registran valores que limitan con la curva correspondiente a la de niveles aceptables, esto a lo largo de la temporada seca del río.

En resumen, se puede apreciar que, para las 3 gráficas y estaciones, el caudal Natural o Regular (el cual corresponde al valor real del caudal que circula) se encuentra a lo largo de todo el año y para las 3 estaciones por encima de los valores de Caudal Mínimo; con excepción de la estación Queracocha, la cual registra un periodo de valores de caudal debajo, pero que aún así, se encuentran en un rango "Aceptable".

5.3. Análisis de Hidrogramas

Los hidrogramas permitirán determinar y apreciar de manera gráfica cómo se comporta el río a lo largo de un año en base a su cauce. Este gráfica tendrá como eje horizontal la división correspondiente a los meses y permitirá clasificar a los meses según su naturaleza y permitirá determinar la naturaleza del río; si es un río pluvial, es decir, que su principal aporte es por las lluvias de la estación húmeda; un río glaciar, lo que implica que presenta un gran aporte de los glaciares cercanos a la cuenca; como también podrá ser un río mixto, donde se tendrá una colaboración conjunta tanto de glaciares como lluvias (pluvialidad).

El detalle de los datos con los cuales se construyeron los hidrogramas se aprecia en el **Anexo 5: Valores para la Construcción de Hidrogramas de Estaciones.**

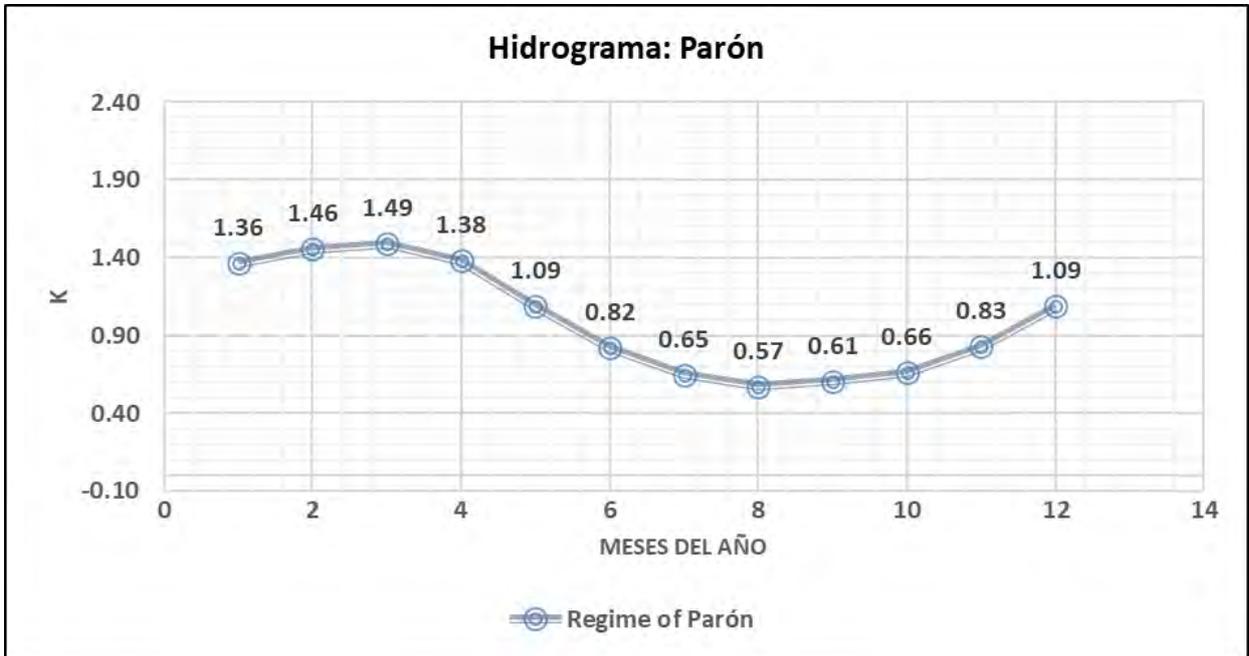


Figura 23: Hidrograma de Estación Parón
Fuente: Elaboración propia

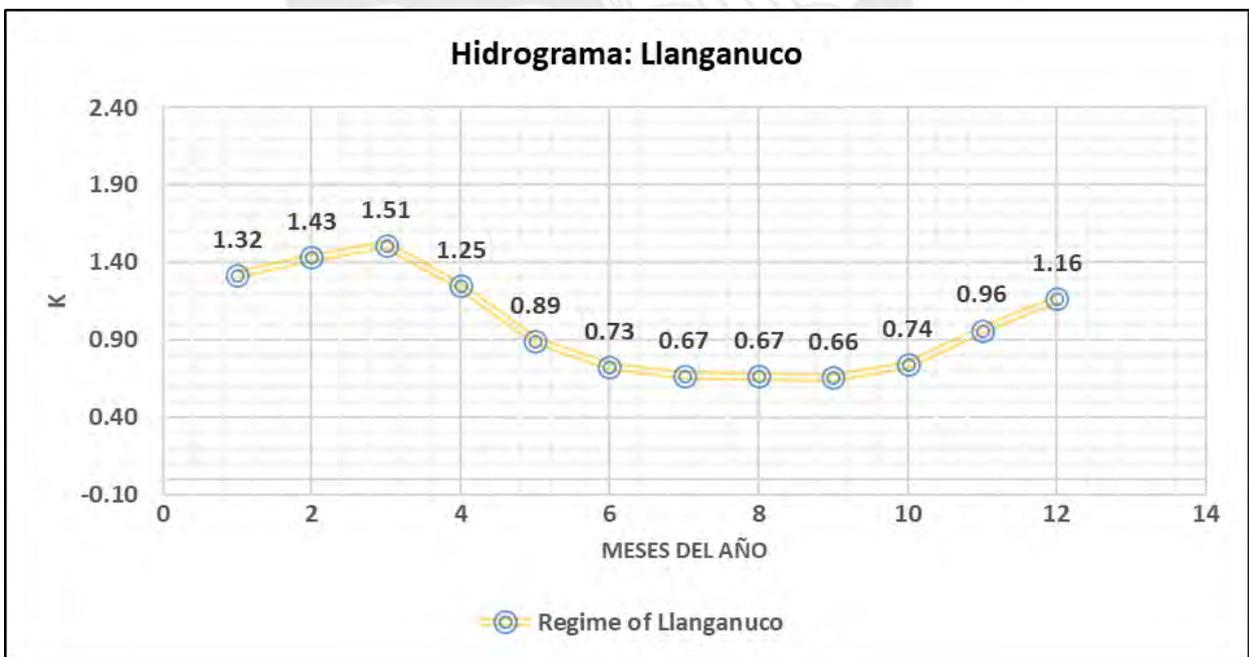


Figura 24: Hidrograma de Estación Llanganuco
Fuente: Elaboración propia

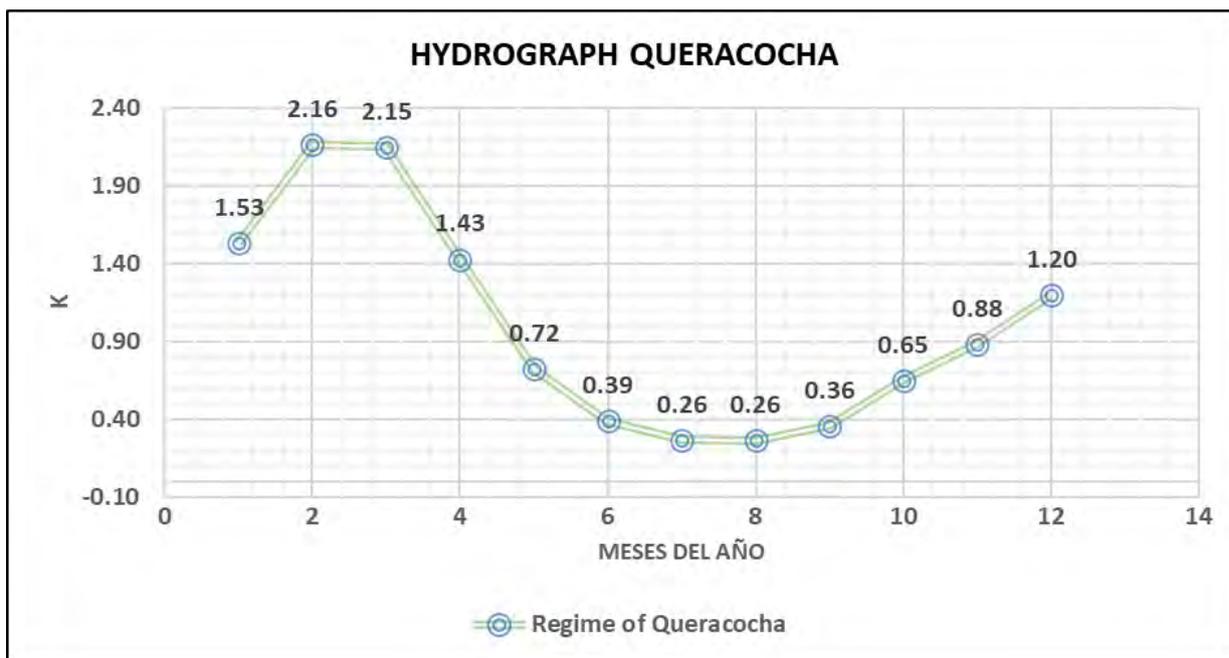


Figura 25: Hidrograma de Estación Queracocha
Fuente: Elaboración propia

5.4. Caudal Ecológico de Referencia (ANA)

Una vez obtenidos los resultados por medio del método Tennat - Montana se procederá a determinar el valor del Caudal Ecológico en base a lo que norma la legislación peruana vigente. El ente rector, máxima responsable de los cuerpos del agua es la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la cual tiene facultades sancionadoras y coactivas.

En lo que respecta a la legislación peruana en materia de Caudal Ecológico, es el ANA quien emite los lineamientos para su determinación y cálculo. El 20 de abril de 2016, se emitió una prepublicación: *Resolución Jefatural RJ N°098-2016-ANA*; esta fue una prepublicación planteada por la principal autoridad de gestión de los recursos hídricos sobre la Metodología para Determinar Caudales Ecológicos, la cual finalmente termina con la publicación de la resolución: *RJ-154-2016-ANA "Metodología para Determinar Caudales Ecológicos"*; sin embargo, este documento fue derogado el 6 de diciembre de 2019 por la Resolución Jefatural *RJ-154-2016-ANA "Lineamientos Generales para Determinar Caudales Ecológicos"*.

Esta nueva resolución, se plantea el alcance que debe de tener el trabajo desarrollado para obtener el Caudal Ecológico, dependiendo del tipo de Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) con el que se esté trabajando. Asimismo, se menciona el contenido mínimo que debe de tener un estudio que determina este caudal, si es que se utiliza un método hidrológico/hidráulico, el cual es el siguiente (ANA, 2019):

1. Introducción
2. Localización y descripción del ámbito de estudio
3. Objetivo
4. Definición de unidad de análisis
 - 4.1. Descripción de la unidad de análisis
 - 4.2. Evaluación del régimen hidrológico/hidráulico
 - 4.3. Caracterización geomorfológica y geodinámica
 - 4.4. Caracterización de la calidad de agua
 - 4.5. Identificación de actividades socio-económicas asociadas al cuerpo de agua
5. Definición de la infraestructura hidráulica proyectada
6. Determinación del Caudal Ecológica
7. Reglas de Operación
8. Programa de Monitoreo
9. Evaluación de Caudal Ecológico y medidas correctivas

En ese sentido, y siguiendo las directrices indicadas para calcular el Caudal Ecológico, determinaremos este valor a través de la propuesta planteada por el ANA en su Resolución Jefatural N°098-2016-ANA. *“Metodología para determinar Caudales Ecológicos”*, el cual corresponde a una metodología del tipo hidrológica. En el texto indicado, la autoridad competente indica que al Caudal Ecológico como a aquel valor equivalente al caudal determinado con 95% de persistencia en el tramo de interés de la fuente natural de agua, utilizando la información estadística de por lo menos 20 años (ANA, 2016).

Esta metodología establece como proceso de cálculo lo siguiente:

1. Se definen los años a trabajar y ordenamos las series de caudales medios en columnas, donde cada columna, representará el valor de un mes específico.
2. En una columna a la izquierda de las series de los datos, se coloca el número de orden de cada dato (m), empezando desde 1 hasta N, donde N representa el número de caudales medios. Ver tabla anexada
3. En otra columna a la derecha de la columna donde se indica el orden de cada dato, se calcula la probabilidad $p=m/N*100$
4. Se completarán las demás columnas con los datos de caudales medios de los meses restantes.

Donde:

- A = Años registrados para analizar la información del caudal.
- $Q_{mm_{p,A+N+1}}$: Caudal Medio Mensual del mes “p”, donde “p” varía entre 1 y 12 para el Año “A+N-1”.

5. Se ordena cada columna con los caudales medios en forma decreciente (de mayor a menor).
6. Se calcula los valores que correspondan al $p=95\%$; en caso de no encontrar este valor en la columna de probabilidades, se deberá de interpolar entre los valores más próximos para determinar dicho valor (interpolación lineal).

Tabla 24: Cálculo del Caudal Ecológico en base a la metodología propuesta por el ANA

Year	Number (m)	P (%)	Jan.	Feb.	Mar.	.....	Dec.
A	$m_1=1$	$m_1/N*100$	$Q_{m1,A}$	$Q_{m2,A}$	$Q_{m3,A}$	....	$Q_{m12, A}$
A+1	$m_2=2$	$m_2/N*100$	$Q_{m1,A+1}$	$Q_{m2,A+1}$	$Q_{m3,A+1}$	....	$Q_{m12, A+1}$
A+2	$m_3=3$	$m_3/N*100$	$Q_{m1,A+2}$	$Q_{m2, A+2}$	$Q_{m3, A+2}$	....	$Q_{m12, A+2}$
.....
....
A+N-2	$m_{N+1}=N-1$	$M_{N-1}/N*100$	$Q_{m1,A+N-2}$	$Q_{m2,A+N-2}$	$Q_{m3, A+N-2}$	....	$Q_{m12, A+N-2}$
A+N-1	$m_N=N$	100	$Q_{m1,A+N-1}$	$Q_{m1,A+N-1}$	$Q_{m1,A+N-1}$	....	$Q_{m12, A+N-1}$

Fuente: Modificado de Resolución Jefatural N°098-2016-ANA. ANA, 2016

Se procede a calcular el régimen de Caudales Ecológicos Referenciales (CER) siguiendo la metodología establecida por el ANA (a través de su Resolución Jefatural). Se unirá los caudales medios mensuales obtenidos con una persistencia del 95% para el conjunto de años estudiados y para aplicar a las 3 estaciones analizadas.

Las tablas de resumen que permitieron construir estas curvas se aprecian en los **anexos N° 6, 7 y 8**.

A continuación, revisaremos las curvas obtenidas:

b. CER – Estación Hidrométrica PARÓN

En base a lo calculado y a lo que se muestra en el **anexo N°6** (Caudal Ecológico Referencial CER - ANA), se obtuvo la curva de Caudal Ecológico Referencial de la estación Parón, tal como se muestra a continuación:

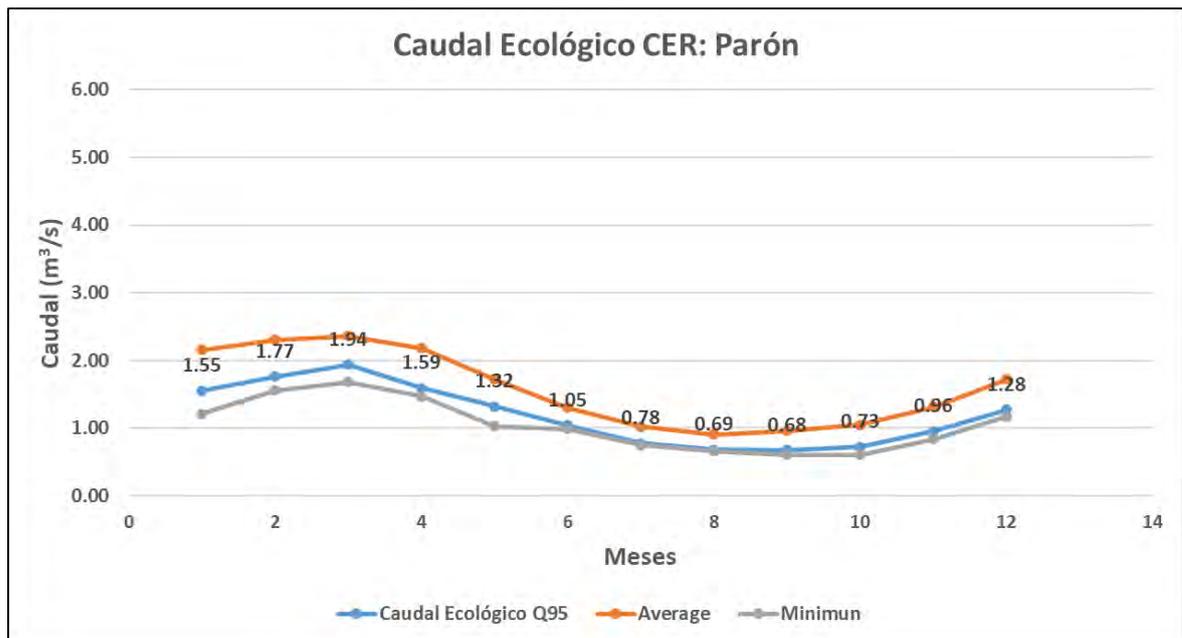


Figura 26: Caudal Ecológico Referencial ANA - Estación Parón
Fuente: Elaboración propia

c. **CER – Estación Hidrométrica LLANGANUCO**

En base a lo calculado y a lo que se muestra en el **anexo N°7**, se obtuvo la curva de Caudal Ecológico Referencial de la estación Llanganuco, tal como se muestra a continuación:

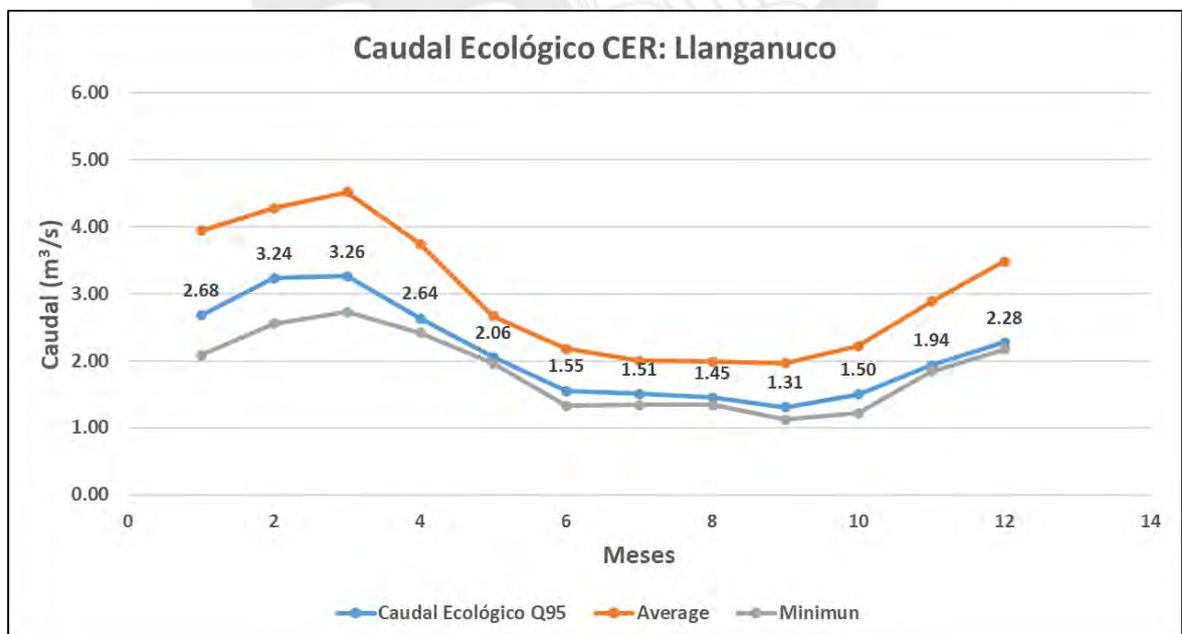


Figura 27: Caudal Ecológico Referencial ANA - Estación Llanganuco
Fuente: Elaboración propia

d. CER – Estación Hidrométrica QUERACOCHA

En base a lo calculado y a lo que se muestra en el **anexo N° 8**, se obtuvo la curva de Caudal Ecológico Referencial de la estación Queracocha, tal como se muestra a continuación:

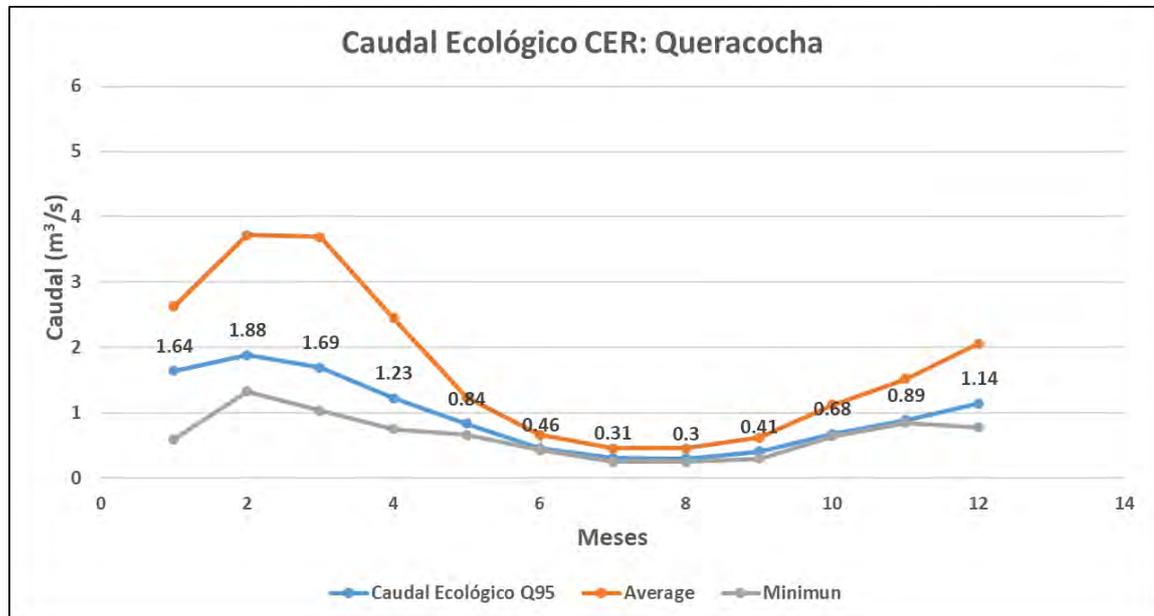


Figura 28: Caudal Ecológico Referencial ANA - Estación Queracocha

Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- ✚ El presente trabajo de investigación ha demostrado que es factible calcular el Caudal Ecológico y sus respectivas clasificaciones para las estaciones Parón, Llanganuco y Queracocha a través de la metodología de Tennant-Montana.
- ✚ La determinación del Caudal Ecológico demostró que este instrumento de Gestión Ambiental no consiste en un valor único y excluyente, sino que dependerá de la estación hidrométrica (la cual condicionará el nivel de pluvialidad) y del consumo de agua realizado por la población o industria. Estos dos grandes consumidores dejarán un caudal remanente, el cual se medirá con la metodología permitiendo determinar si el flujo circulante restante, es el óptimo y adecuado. Determinando de esta manera, si este perjudica y/o pone en peligro a la sociedad, las actividades económicas, las especies y el ecosistema que compromete la cuenca estudiada.
- ✚ El método de Tennant Montana permitió conocer los valores de Caudal Ambiental de la cuenca del río Santa. Para ser posteriormente, clasificados según su nomenclatura en caudal Mínimo, Aceptable o Excelente.

- ✚ Se logró comparar los resultados de caudal obtenidos a través de la metodología de Montana, con los resultados obtenidos al aplicar el método propuesto por la máxima autoridad del agua en el Perú, el ANA, y comparar con el caudal circulante real. Se determinó que ningún valor de Caudal se encuentra debajo de lo que se considera como un Caudal Ecológico Mínimo (el cual pondría en peligro no solo la actividad económica, sino también a la población y al ecosistema).
- ✚ Al realizar el Balance Hídrico, se logró determinar que el porcentaje de demanda de agua en la cuenca del río Santa representa un 0.35% del consumo total de la cuenca; un valor que resulta ínfimo e insignificante si es que se compara con el 96.37% demandado por la población aledaña a la cuenca.
- ✚ Se concluye, en base al porcentaje tan ínfimo obtenido en el Balance Hídrico muestra para esta cuenca, la minería **no** representa una actividad que implique una **demanda exhaustiva** de agua con procedencia de esta cuenca. Esto permite además concluir que no será la minería la actividad que ponga en peligro un potencial desequilibrio del caudal, sino, será la sociedad (población), la cual hace un consumo gigantesco de este cauce; y que, si no llega a ser controlado, perjudicará la disponibilidad para actividades como la ganadería y la propia generación de energía de esta región.
- ✚ La información generada por la aplicación de la metodología de Tennant y la comparación y/o análisis con los valores reales, permite establecer entre Caudales Ecológicos y Caudales Naturales; de esta manera, las autoridades e instituciones podrán tomar las acciones que consideren necesarias con el fin de lograr el manejo adecuado en la gestión integral de los recursos hídricos y su respectiva preservación.
- ✚ La aplicación de la metodología de Tennant para determinar el caudal ecológico de los ríos permitirá un adecuado manejo de los recursos hídricos más sostenible, facilitando una convivencia entre los diferentes actores (población, industria minera, otras industrias y otros) que se asienten en esta misma cuenca.

6.2. Recomendaciones

- ✚ Dado que se logró determinar el Caudal Ecológico con el Método Tennant, las instituciones relacionadas con el recurso hídrico, principalmente el ANA, deben de promover la investigación, aplicación y uso de esta metodología para tener mapeada una mejor situación de los diferentes caudales en las cuencas del Perú. Asimismo, se debe promover el desarrollo de nuevas tecnologías, propias del país que se acomoden y ajusten a las características y necesidades de los ríos que circulan en parte del

territorio peruano y buscar facilitar el acceso a la información hidrológica a los investigadores, con el fin de desarrollar el conocimiento del comportamiento hidrológico de las cuencas del país.

- ✚ El caudal ecológico debería ser incluido en los Estudios de Impacto Ambiental de los proyectos mineros, dado que se demostraría claramente que esta industria no afecta los caudales de los ríos estudiados. Por otro lado, este instrumento de gestión ambiental podría ser utilizado para una mejor planificación del recurso hídrico al momento de proponer e implementar, mediante proyectos de responsabilidad social alternativas de desarrollo económico a los stakeholders (comunidades).
- ✚ La metodología de Tennant puede y debería ser potenciada a través de software de modelamiento hidráulico y de estudios más profundos de la cuenca del río Santa. Esto permitirá caracterizar de manera más rápida y eficiente un mayor número de estaciones a lo largo de los diferentes cuerpos de agua y permitirá alcanzar resultados inmediatos, que permitirán caracterizar hidrológicamente los ecosistemas fluviales de las áreas de interés que se deseen estudiar.
- ✚ El presente estudio deberá complementarse con un trabajo que evalúe el nivel de Calidad de las aguas de los ríos, en particular, en aquellos que se encuentren próximos a zonas de operaciones mineras deberán de contar con una evaluación de parámetros fisicoquímicos, tales como: carga metálica, pH, conductividad, presencia de metales pesados y entre otros tantos criterios pertinentes. Fortalecer este tipo de estudios permitirá al estado tomar medidas adecuadas para sancionar a quienes contaminen el ecosistema de los ríos y buscar así una mejor preservación de la riqueza natural.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acreman, A & M Dunbar (2004) Defining environmental river Flow requirements-a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 8 (5): 861-876.
- Alcázar, Jorge (2007). *El Método de Caudal Básico para la determinación de Caudales de Mantenimiento - Aplicación a la cuenca del Ebro*. Tesis doctoral. Universidad de Lleida. Lleida, España. 2007
- Alcoser, Félix. (2014) *Caudal Ecológico del río Tumbes en la estación Tigre. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Australian Competition and Consumer Commission (ACCC). *Water Act 2007: A commonwealth Environmental Water Holder*. Australia 2007.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA): *Aprobación de la Metodología para la Determinación del Caudal Ecológico – R.J. N° 154-2016-ANA*. Lima, p.15.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA): *El Agua en Cifras*. Lima. <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>, 2010 (fecha de consulta: 11/11/2021).
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). *Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del río Santa*. (Lima, Perú), 2015 (fecha de consulta: 17/09/2021)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA): *Diagnóstico Sobre los Caudales Ecológicos en el Perú - Primera Fase* (Lima, Perú), 2015. (fecha de consulta: 15/10/2021)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). *Resolución Jefatural N° 098-2016. Metodología para Determinar Caudales Ecológicos*. 2016. (fecha de consulta: 10/09/2021).
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). *Resolución Jefatural N° 267-2019. Lineamientos para Determinar Caudales Ecológicos*. 2019 (fecha de consulta: 23/03/2022).
- Autoridad Nacional del Agua (ANA): *Informe Técnico N°024-2017-ANA-AAA.HCH-SDGCRH*. (Lima, Perú), 2017. (fecha de consulta: 17/10/2021)

- Autoridad Nacional del Agua (ANA): *Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos* (Lima, Perú), 2013. (fecha de consulta: 07/10/2021)
- Balandra, M. (2012) Caracterización Ambiental y Determinación del Caudal Ecológico en la Cuenca del río Verde, OAXACA. Tesis para obtener grado académico de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México.
- Bernuy, D. (2019) Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos en la cuenca del río Rímac. *Trabajo de Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Ambiental*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Boove, K. D. (1982) *A guide to stream habitat analysis using the instream inflow incremental methodology*. *Instream Flow Information Paper 12*. U.S.D.I. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Washington
- Carey, M.; Baraer, M.; Mark, B.; French, A.; Bury, J.; Y. Kenneth; McKenzie, J. (2013) Toward Hydro-social modelling: Merging human variables in the social sciences with climate-glacial run-off models (Santa River, Perú). *Journal of Hydrology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.006>
- Cegarra, J. (2004) Metodología del Investigación Científica y Tecnológica. Universidad Politécnica de Catalunya. Madrid.
- Decreto Supremo N°043-2006-AG. *Aprueban Categorización de Especies Amenazadas en Flora Silvestre*. Diario Oficial El Peruano. (13 de julio de 2006).
- Dirección General de Aguas de Chile. Código de Agua de Chile, artículo 129, bis 1. Santiago de Chile, Chile (2009).
- Diseño y Producción Leaders S.A. Endesa Chile. (2011) *Introducción al cálculo de Caudales Ecológicos (pp.12-14)*, Santiago de Chile.
- Duke Energy International (2004). *Estudio Hidrológico Centrales Hidroeléctricas Cañon del Pato y Carhuaquero*. Lima, Perú. 2004
- García de Jalón, D; Gonzalez del Tánago, M. (2006) El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles. Memorias del 5^{to} Congreso Ibérico. Faro, Portugal.

Gippel, C.J.; Stewardson, M.J. (1998) Use of wetted perimeter in defining minimum Environmental Flows. *Regulated Rivers: Research and Management* 14 (1): 53-67. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199801/02\)14:1<53::AID-RRR476>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199801/02)14:1<53::AID-RRR476>3.0.CO;2-Z)

Global Environmental Flows Network. *Governing Environmental Flows: Global Challenges to Social Theory*: 39 – 43.- <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=U7vrLKEX9kkC&oi=fnd&pg=PA39&dq=Global+Environmental+Flows+Network&ots=PcqcJLGcVg&sig=zWPDT5ZJgEZm2fn4ANKdoOyxMw#v=onepage&q=Global%20Environmental%20Flows%20Network&f=false> (2006).

Gobierno de Chile. *Guía Metodológica para determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA. Servicio de Evaluación Ambiental*. Santiago de Chile, Chile (2016).

Guittared, A.; Baraer, M.; McKenzie, J.; Mark, B.; Wigmore, O.; Fernandez, A.; Rapre, A.; Walsh, E.; Bury, J.; Carey, M.; French, A.; Young, K. (2017) Trace Metal Contamination in the glacierized river Santa, watershed, Perú. *Environ Monit Assess.* 649:1-16. DOI:10.1007/s10661-017-6353-0

Instituto Mexicano del Transporte. *Metodología para la medición de la velocidad del flujo en un río en el diagnóstico de la socavación de pilas en un puente. Publicación Técnica No 536*, Sanfadila, México, 2012.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente* (1996).

Izquierdo, M.; Madroño, S. (2013) *Régimen de Caudal Ecológico, herramienta de gestión para conservar la biota acuática*. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 23(2), 77-94. <https://doi.org/10.18359/rcin.224>

Ley N°29338. Diario Oficial el Peruano. República del Perú, Lima, Perú, 30 de marzo de 2009.

- Mancomunidad Municipal del Valle Fortaleza y Santa (2017) *Estudio Hidrológico de la Cuenca del río Santa. Proyecto: Recuperación de los Servicios Ecosistémicos de regulación hídrica, en las cuencas alta, mediana y baja de los ríos Fortaleza y Santa, en las Provincias de Recuay y Bolognesi – Región Áncash*. Áncash, Perú.
- Maunder, D. & Hindley, B. (2005) *Establishing Environmental Flow Requirements-Synthesis Report*. Conservation and Conservation Ontario.
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. *Reglamento de la Ley N°29338. Ley de Recursos Hídricos*. Diario Oficial El Peruano. Lima, 2010.
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. *Estudio de Evaluación Ambiental Territorial y de Planeamiento para Reducción o Eliminación de la Contaminación de Origen Minero en la Cuenca del río Santa*. Lima, 1998.
- Ministerio del Ambiente de Chile. *Decreto Supremo D.S.N°014. Código Nacional de Aguas Chileno* (2015)
- Ministerio del Ambiente del Perú. D.S.N°001-2010-AG. *Reglamento de Ley de Recursos Hídricos* (2010).
- Moore, M. (2004) *Perceptions and interpretations of Environmental Flows and implications for future water resource management*. Tesis de la Maestría. Department of Water and Environmental Studies. Linköping University. Suecia. p. 56.
- Moreno, L (2010). *Técnicas y algoritmos empleados en estudios hidrológicos e hidráulicos (p.2)*. Montevideo, Uruguay. Recuperado de: <https://1library.co/document/q7oek7oy-curvas-de-gasto-determinacion-y-variacion-temporal.html>
- Nelson, F. (1983) *Guidelines for using the wattet perimeter (WETP) computer program on the Montana Department of Fish. Wildlife and Parks*. Montana U.S..
- Palau, A. (2004) Método QBM: Caudal Básico de Mantenimiento. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo Informe Técnico Universidad de Lleida, Lleida.
- Palau, A. (1994) *Los mal llamados “caudales ecológicos”. Bases para una propuesta de cálculo*. *Revista del Colegio de Ingeniero de cambios, caudales, y puertos*. 28.

Parlamento y Consejo Europeo. Directiva 2000/60/CE. Establecimiento de un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Comunidad Europea. 23 de octubre de 2000.

Parque Nacional del Huascarán (2010). *Plan Maestro PNH 2010-2015*. Huaraz, Perú.

Perales, J. (2010) *Caracterización del régimen de caudales ecológicos mínimos y análisis de riesgos en los embalses de la cuenca del río Guadalfeo (Granada)*. Córdoba. Trabajo profesional fin de carrera. Universidad de Córdoba. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes.

Randolph, C.L. (1984) *Validity of the wetted – perimeter method for recommending instream Flows for rainbow trout in a small*. Thesis. M. Sc. Montana. US. Montana State University

Rojas, A. (2014). El Caudal Ecológico en la Gestión del Agua. *Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú (CGP)*. Lima. 22 p.

Secretaría del Agua (SENAGUA). *Ley de Recursos Hídricos y Aprovechamiento de Agua para el Ecuador y su Reglamento*. Quito, Ecuador, 2014.

SEDALIB S.A. *Diagnóstico Hídrico Rápido de la Cuenca del río Santa como Fuente de Agua y Servicios Ecosistémicos Hídricos para la EPS SEDALIB. S.A.* Ancash, 2018

SERNANP (2010). *Nuestra Naturaleza. Nuestro Desarrollo: Memoria Anual 2010*. Lima, Perú. 2010

SERNANP (2016). *Plan Maestro del Parque Nacional del Huascarán 2010 – 2015*.

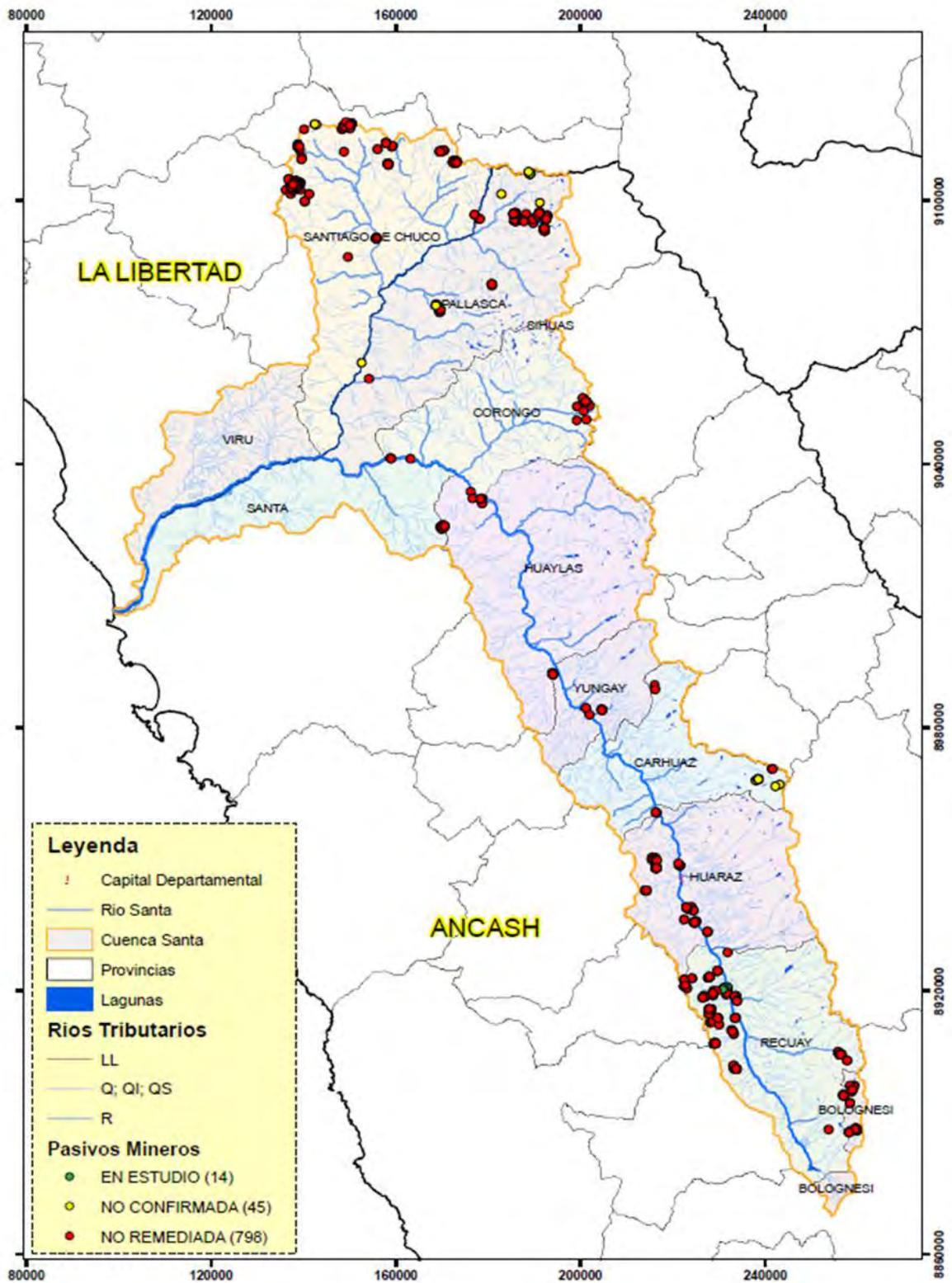
Smakhtin, V. U. (2001) Low Flow Hydrology: a review. *Journal of hydrology* (240): 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)

Stewardson, M. (2005) *Environmental Flow Analysis*. Technical Report 05/13. *Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology*. Australia. 47 p.

- Tennant, D. (1976) Instream Flow regimens for fish, wildlife, recreational and related environmental resources. *Fisheries* 1(4) 6-10. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1976\)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1976)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2)
- Tharme, R.E. & Smakhtin V.U. (2003) Environmental Flow assessment in Asia, capitalizing in on existing momentum, In: Proceedings of the First Southeast Asia Water Forum, November 2003 (2) 301-313. Thailand Water Resources Association. Bangkok, Thailand.
- UICN (International Union for the Conservation of nature and Natural Resources, CR). 2011. *Situación Actual y Rol de los Ecosistemas en la Regulación Hidrológica de la Cuenca del río Santa*. Ed UICN-ORMA (Oficina Regional para Mesoamerica).
- Universidad Nacional Agraria La Molina, *Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto Chinecas – Primera Etapa*. Lima, 1996.
- Villanueva, J.C.; Alata, J. (2011) *Análisis y propuesta de una metodología para la determinación del caudal ecológico en centrales hidroeléctricas del Perú, aplicación a un caso típico*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Villanueva, R. (2011). Características de la Cuenca del río Santa. Folleto Informativo. Biblioteca Nacional del Perú. Huaraz.
- WWF. Caudal Ecológico: *Salud al ambiente, agua para la gente*. Ciudad de México Factsheet (2010).

8. ANEXOS

Anexo 1: Distribución de pasivos mineros a lo largo de la cuenca del río Santa



Anexo 2: Caudales medios mensuales. Periodo: 1954 - 2003 (Estación Parón)

Estación Hidrométrica: Parón (m³/s)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
1954	2.56	2.51	2.30	2.14	1.72	1.18	0.90	0.77	0.77	0.81	0.84	1.23	1.48
1955	1.52	1.71	2.12	2.30	1.68	1.16	0.78	0.66	0.61	0.61	0.87	1.32	1.28
1956	1.79	1.95	2.15	1.91	1.58	1.11	0.80	0.68	0.69	0.76	1.11	1.70	1.35
1957	2.60	2.78	2.39	2.12	1.76	1.44	1.16	1.15	1.05	1.11	1.37	2.02	1.75
1958	2.99	2.95	2.82	2.60	2.35	1.81	1.27	1.15	1.22	1.31	1.65	2.56	2.06
1959	3.41	2.86	2.56	2.78	1.89	1.32	0.96	0.95	0.93	1.11	1.42	1.88	1.84
1960	2.24	2.43	2.24	2.09	1.57	1.29	1.15	1.09	1.05	1.04	1.31	2.02	1.63
1961	2.91	2.77	2.56	2.47	1.64	1.15	0.82	0.71	0.7	0.69	0.94	1.17	1.54
1962	1.66	2.42	2.55	2.28	1.5	1.02	0.78	0.74	0.79	0.94	1.16	1.50	1.45
1963	1.77	1.89	2.12	2.21	1.69	1.15	0.78	0.68	0.93	1.06	1.32	1.65	1.44
1964	2.33	2.93	2.70	2.20	1.55	1.04	0.85	0.83	0.78	0.91	1.06	1.20	1.53
1965	1.21	1.56	1.68	1.50	1.26	0.99	0.86	0.83	0.93	1.12	1.38	1.86	1.27
1966	2.21	2.32	2.17	1.69	1.44	1.34	1.24	1.19	1.29	1.30	1.46	1.62	1.61
1967	1.58	1.93	2.17	1.68	1.31	1.06	0.85	0.74	0.82	0.90	1.25	1.65	1.33
1968	1.83	1.82	1.70	1.48	1.33	1.11	0.94	0.86	1.27	1.09	1.29	1.72	1.37
1969	2.24	2.41	2.46	2.43	2.19	1.67	1.36	1.11	1.15	1.33	1.35	1.68	1.78
1970	2.05	1.94	2.29	2.16	1.81	1.40	1.15	0.91	1.09	1.14	1.37	1.75	1.59
1971	2.13	2.39	2.75	2.56	1.75	1.38	1.04	0.82	0.84	1.02	1.38	1.64	1.64
1972	1.51	1.81	2.11	2.38	2.12	1.41	1.30	1.15	1.13	1.15	1.39	1.78	1.60
1973	2.59	2.95	2.95	2.38	2.14	1.65	1.39	1.30	1.12	1.27	1.53	1.78	1.92
1974	1.92	2.05	2.28	2.01	1.61	1.37	1.05	0.88	0.83	0.94	1.29	1.62	1.49
1975	1.68	1.76	2.08	2.10	1.84	1.39	1.10	0.78	1.03	0.97	1.25	1.47	1.45
1976	1.60	1.77	1.98	2.16	1.79	1.49	1.10	0.88	0.93	1.29	1.84	2.1	1.58
1977	3.01	3.10	2.79	2.33	1.61	1.17	0.98	0.86	1.03	1.16	1.28	1.76	1.76
1978	2.65	2.46	2.44	2.08	1.84	1.53	1.27	1.15	1.19	1.23	1.42	1.78	1.75
1979	2.71	2.65	2.77	2.31	1.93	1.41	1.13	1.03	1.09	1.24	1.50	2.01	1.82
1980	2.25	2.27	2.17	2.17	1.81	1.42	1.07	0.93	1.10	1.25	1.49	1.82	1.65
1981	2.21	2.44	2.48	2.24	1.90	1.42	1.11	1.01	1.00	1.13	1.41	1.72	1.67
1982	1.88	2.08	2.16	2.14	1.76	1.36	1.07	0.88	0.98	1.04	1.25	1.65	1.52
1983	2.43	2.61	2.82	2.61	2.19	1.76	1.48	1.30	1.36	1.43	1.79	2.24	2.00
1984	2.01	2.25	2.54	2.43	1.72	1.38	1.07	0.98	0.96	1.14	1.31	1.78	1.63
1985	2.05	2.29	2.29	2.17	1.51	1.19	0.88	0.75	0.81	0.94	1.31	1.63	1.49
1986	1.98	2.12	2.15	2.46	2.10	1.54	1.12	0.95	1.05	1.15	1.49	1.93	1.67
1987	2.47	2.66	2.54	2.43	2.06	1.35	1.09	0.90	0.96	1.14	1.40	1.86	1.74
1988	2.65	2.55	2.48	2.40	2.00	1.45	1.18	0.99	1.07	1.15	1.47	1.83	1.77
1989	1.87	1.93	2.12	1.96	1.49	1.05	0.75	0.69	0.66	0.76	1.12	1.67	1.34
1990	2.18	2.31	2.23	2.13	1.56	1.23	1.02	0.87	0.87	1.05	1.33	1.61	1.53
1991	2.10	2.31	2.55	2.34	1.81	1.23	0.96	0.82	0.77	0.86	1.07	1.53	1.53
1992	1.97	2.29	2.31	2.07	1.62	1.15	0.90	0.79	0.79	0.85	1.12	1.67	1.46
1993	1.81	2.03	2.28	2.08	1.61	1.22	0.93	0.79	1.03	1.08	1.17	1.53	1.46
1994	1.84	2.07	2.32	2.25	1.77	1.18	0.78	0.70	0.64	0.68	0.97	1.42	1.39
1995	2.27	2.50	2.51	2.64	1.85	1.26	0.94	0.83	0.88	1.04	1.30	1.67	1.64
1996	1.91	2.08	2.23	1.95	1.48	1.17	0.94	0.82	0.93	1.09	1.41	1.74	1.48
1997	2.06	2.14	2.11	1.81	1.42	1.11	0.93	0.83	0.92	1.02	1.38	2.05	1.48
1998	2.63	2.59	2.55	2.52	1.97	1.45	1.19	1.05	1.08	1.15	1.45	2.24	1.82
1999	2.83	2.67	2.48	2.24	1.62	1.17	0.95	0.89	1.03	1.09	1.35	1.60	1.66
2000	1.68	2.47	2.54	1.47	1.03	1.10	0.94	1.00	1.08	0.86	1.37	1.77	1.44
2001	2.33	2.42	2.62	2.39	1.93	1.42	1.07	0.91	0.95	1.05	1.25	1.59	1.66
2002	2.13	2.43	2.48	2.35	1.78	1.32	1.00	0.94	1.04	1.12	1.33	1.71	1.64
2003	1.74	1.86	1.90	1.76	1.39	1.05	0.82	0.73	0.77	0.84	1.06	1.39	1.28
Promedio	2.16	2.31	2.36	2.19	1.73	1.30	1.02	0.91	0.96	1.05	1.31	1.72	1.58
Máximo	3.41	3.10	2.95	2.78	2.35	1.81	1.48	1.30	1.36	1.43	1.84	2.56	2.06
Mínimo	1.21	1.56	1.68	1.47	1.03	0.99	0.75	0.66	0.61	0.61	0.84	1.17	1.27
Desv. Est	0.45	0.37	0.28	0.30	0.27	0.19	0.18	0.16	0.17	0.18	0.20	0.26	0.18

Anexo 3: Caudales medios mensuales. Periodo: 1954 - 2003 (Estación Llanganuco)

Estación Hidrométrica: Llanganuco (m³/s)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
1954	5.72	3.58	4.81	3.87	2.56	2.40	1.83	2.22	2.42	1.83	1.84	2.17	3.25
1955	2.08	3.36	5.04	3.84	2.39	1.97	2.01	1.91	1.63	1.51	1.85	2.17	2.66
1956	2.68	3.82	3.28	2.45	2.05	1.80	1.69	1.78	1.96	2.25	3.08	4.78	2.86
1957	3.47	3.85	3.75	3.62	3.29	2.66	2.74	2.52	1.95	2.23	3.17	4.18	3.48
1958	4.77	4.40	4.67	4.21	3.59	3.01	2.63	2.51	2.74	2.06	3.10	3.30	3.86
1959	4.73	5.07	5.34	3.95	2.41	1.54	1.52	1.76	1.68	1.73	1.95	3.41	3.23
1960	3.95	4.63	4.19	3.56	2.75	3.20	2.73	2.40	1.83	2.17	2.58	3.07	3.44
1961	3.81	2.56	2.87	2.99	2.73	2.67	2.01	1.57	1.25	1.22	1.92	2.37	2.47
1962	3.83	5.32	4.52	3.16	1.96	1.74	1.60	1.57	1.63	1.77	2.19	2.64	2.89
1963	2.68	3.59	5.58	3.61	2.05	1.84	1.70	1.91	1.90	1.97	2.60	3.57	3.01
1964	4.43	4.05	3.56	3.20	2.49	1.69	1.74	1.51	1.36	1.43	2.27	2.26	2.69
1965	2.26	3.35	3.56	2.70	2.23	1.79	1.67	1.71	1.89	2.49	3.25	3.94	2.79
1966	4.03	4.71	3.56	3.14	2.89	2.38	2.65	2.74	2.54	2.46	3.03	3.21	3.47
1967	3.17	4.47	4.50	2.66	2.11	1.85	1.57	1.47	1.61	1.80	2.63	3.27	2.81
1968	3.33	3.38	2.73	2.42	2.06	1.87	1.70	1.57	1.84	2.02	2.62	3.39	2.58
1969	3.83	3.57	4.10	3.87	3.11	2.48	2.15	2.09	2.15	2.78	3.42	3.85	3.48
1970	4.32	3.93	3.89	3.92	2.97	1.33	3.70	3.02	2.24	2.36	2.66	3.07	3.48
1971	3.54	3.51	5.22	3.80	2.46	2.19	1.81	1.43	1.58	2.13	2.48	3.15	3.04
1972	3.00	3.88	4.96	4.58	2.87	2.19	2.11	2.09	1.84	2.09	2.96	3.78	3.37
1973	4.95	5.20	5.51	4.70	2.94	2.35	2.06	2.10	1.85	2.33	3.21	3.07	3.78
1974	3.79	3.71	4.18	3.67	2.54	1.77	1.34	1.43	1.21	1.71	3.01	2.90	2.82
1975	3.20	3.60	5.23	3.63	2.31	1.56	1.70	1.66	1.12	1.49	2.77	2.29	2.75
1976	3.14	3.78	4.04	3.32	2.27	1.87	1.98	1.80	1.91	2.92	3.32	3.73	3.12
1977	4.55	4.47	4.88	4.04	2.52	2.12	2.08	2.22	1.97	2.57	3.03	3.49	3.53
1978	4.33	5.14	4.25	3.40	3.20	2.27	1.94	1.93	1.85	2.21	2.73	3.89	3.45
1979	4.76	4.31	5.22	3.94	3.01	2.60	2.14	2.07	2.39	2.73	3.52	4.61	3.44
1980	3.86	4.60	4.04	4.08	3.14	3.25	2.33	2.46	3.57	3.11	3.25	4.15	3.49
1981	4.17	5.08	4.69	3.50	2.89	2.95	2.35	2.10	2.03	2.82	3.46	3.72	3.31
1982	4.17	4.61	4.36	3.82	2.85	2.53	2.03	2.00	1.96	2.32	3.21	4.11	3.16
1983	5.98	5.81	6.22	4.69	3.87	3.02	3.04	3.25	3.30	3.70	5.00	3.89	4.31
1984	2.85	5.89	5.75	4.22	2.74	2.00	1.85	2.16	2.07	2.72	3.04	3.49	3.23
1985	3.68	3.11	3.37	3.44	2.36	1.71	1.34	1.34	1.80	2.16	3.18	3.13	2.55
1986	3.86	3.38	3.69	5.80	3.14	2.59	2.14	1.81	1.57	2.48	3.23	4.08	3.15
1987	4.99	5.45	4.70	4.27	3.61	2.95	2.50	2.25	2.22	2.61	3.17	4.53	3.60
1988	5.75	6.04	4.65	4.21	3.21	2.56	2.03	1.96	2.27	2.55	2.99	2.97	3.43
1989	3.08	4.00	4.49	3.55	2.22	1.81	1.49	1.63	1.55	2.18	2.88	3.52	2.70
1990	4.02	4.60	3.70	3.13	2.48	2.15	2.00	2.03	2.07	2.34	2.91	3.34	2.90
1991	3.97	3.66	6.72	3.77	2.72	2.37	1.70	1.75	1.65	1.63	2.27	3.51	2.98
1992	3.73	4.03	4.20	3.22	2.39	1.96	1.88	1.86	1.93	1.98	2.45	3.84	2.79
1993	3.45	4.87	4.57	3.96	2.83	2.18	1.83	1.71	1.71	2.07	3.18	4.02	3.03
1994	4.50	4.87	5.06	4.12	2.70	1.91	1.60	1.61	1.74	1.84	2.50	3.32	2.98
1995	4.44	3.92	4.11	4.71	2.76	2.47	2.00	2.19	2.08	2.48	3.06	3.84	3.17
1996	4.09	4.97	4.53	3.76	2.40	1.93	2.13	2.50	2.44	2.53	2.27	2.84	3.03
1997	3.25	3.12	3.57	2.61	2.07	2.15	2.03	2.02	2.56	2.37	3.63	4.97	2.86
1998	5.71	6.23	5.75	4.57	3.11	2.47	2.07	2.05	2.24	2.41	3.00	3.90	3.63
1999	3.81	4.72	4.31	3.41	2.46	1.94	1.93	1.91	1.94	2.27	2.92	3.30	2.91
2000	3.66	3.60	6.13	5.04	2.88	1.49	1.70	1.83	1.55	1.75	2.85	3.93	3.03
2001	4.61	4.21	6.26	4.16	2.23	2.02	1.87	2.06	1.96	2.26	3.09	3.64	3.20
2002	3.80	4.42	4.54	3.80	2.48	1.71	1.86	2.15	2.03	2.21	3.02	3.73	2.98
2003	3.25	3.58	3.24	3.05	2.19	1.80	1.65	1.64	1.62	1.83	2.38	2.83	2.42
Promedio	3.94	4.28	4.52	3.74	2.67	2.18	2.00	1.99	1.96	2.22	2.88	3.48	3.13
Máximo	5.98	6.23	6.72	5.8	3.87	3.25	3.70	3.25	3.57	3.70	5.00	4.97	4.31
Mínimo	2.08	2.56	2.73	2.42	1.96	1.33	1.34	1.34	1.12	1.22	1.84	2.17	2.42
Desv. Est	0.86	0.83	0.90	0.67	0.44	0.47	0.44	0.40	0.46	0.46	0.54	0.65	0.39

Anexo 4: Caudales medios mensuales. Periodo: 1954 - 2003 (Estación Querachocha)

Estación Hidrométrica: Querococha (m³/s)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
1954	3.48	2.65	3.36	1.75	1.23	0.46	0.28	0.31	0.51	0.76	0.95	1.50	1.44
1955	3.03	4.75	5.04	2.76	1.16	0.52	0.35	0.29	0.45	0.76	1.02	1.90	1.84
1956	2.03	3.13	2.96	2.25	0.92	0.46	0.36	0.37	0.53	1.05	0.91	1.12	1.34
1957	1.20	2.40	2.62	2.15	1.23	0.68	0.53	0.51	0.67	1.26	1.63	1.21	1.34
1958	1.67	2.17	3.11	1.72	1.06	0.65	0.45	0.59	0.71	1.04	0.96	1.16	1.27
1959	1.61	3.14	3.93	2.34	1.36	0.65	0.47	0.55	0.52	1.28	1.35	3.54	1.73
1960	2.94	4.81	1.90	2.39	1.57	0.66	0.46	0.48	0.53	0.95	1.24	1.41	1.61
1961	3.27	2.61	3.79	2.87	1.25	0.80	0.51	0.40	0.50	0.65	2.01	2.86	1.79
1962	4.13	3.99	4.72	2.47	1.06	0.54	0.34	0.37	0.46	0.64	0.96	1.20	1.74
1963	3.08	3.75	4.38	3.32	1.02	0.62	0.36	0.40	0.60	1.20	2.24	3.23	2.02
1964	2.77	3.67	3.30	2.71	1.50	0.71	0.58	0.50	0.58	1.16	1.73	1.55	1.73
1965	1.96	1.94	4.75	2.29	1.01	0.47	0.46	0.45	0.89	1.70	1.78	2.69	1.70
1966	3.24	3.19	2.21	1.87	1.60	0.76	0.62	0.62	0.77	1.61	1.77	2.07	1.69
1967	2.51	6.24	3.92	1.98	1.20	0.62	0.51	0.47	0.57	1.71	1.55	1.67	1.91
1968	1.88	2.34	3.19	1.35	0.69	0.46	0.32	0.41	0.60	1.36	1.56	1.23	1.28
1969	1.72	2.03	2.12	2.43	1.04	0.70	0.38	0.48	0.55	0.95	1.72	3.43	1.46
1970	4.25	3.39	3.00	2.61	2.31	1.26	0.78	0.62	0.94	1.42	2.15	3.12	2.15
1971	2.69	3.95	4.78	2.46	1.09	0.62	0.48	0.52	0.56	1.15	0.94	1.79	1.75
1972	2.53	2.61	5.72	3.22	1.39	0.74	0.45	0.46	0.49	0.77	0.94	1.60	1.74
1973	2.36	3.53	3.64	3.64	1.24	0.78	0.53	0.54	0.63	1.89	2.64	3.35	2.06
1974	4.32	5.39	4.90	3.43	1.04	0.78	0.44	0.39	0.66	0.67	0.98	1.07	2.01
1975	2.36	2.98	5.11	2.48	2.15	1.00	0.58	0.61	0.79	1.32	1.40	1.86	1.89
1976	2.93	5.32	3.45	2.17	0.95	0.68	0.43	0.38	0.44	0.71	0.90	1.33	1.64
1977	1.94	2.73	2.89	2.02	1.25	0.68	0.57	0.57	0.73	1.04	2.55	2.29	1.61
1978	1.84	4.12	3.61	1.90	1.38	0.82	0.50	0.45	1.04	1.08	1.46	2.22	1.70
1979	1.95	3.83	5.67	3.83	1.49	0.75	0.62	0.72	0.86	0.97	1.08	1.56	1.94
1980	1.93	2.24	1.94	1.83	1.01	0.66	0.40	0.58	0.79	1.38	1.94	2.78	1.46
1981	2.50	5.65	4.14	2.32	1.13	0.63	0.52	0.49	0.51	1.41	3.52	3.65	2.21
1982	3.51	5.14	3.26	2.59	1.23	0.72	0.44	0.39	0.61	1.85	3.08	4.11	2.24
1983	4.14	2.54	3.96	3.52	2.11	1.17	0.79	0.74	0.94	1.34	1.70	3.35	2.19
1984	2.36	5.11	5.64	3.27	1.96	1.06	0.78	0.52	0.51	1.59	1.36	2.39	2.21
1985	2.36	2.71	3.48	2.92	1.43	0.66	0.37	0.37	0.98	0.94	1.21	2.25	1.64
1986	2.38	2.57	3.32	2.58	1.42	0.56	0.40	0.37	0.58	0.76	1.18	2.42	1.55
1987	3.30	3.08	2.89	1.52	1.06	0.46	0.39	0.36	0.52	1.08	1.25	2.60	1.54
1988	3.90	3.71	2.33	2.21	1.20	0.60	0.39	0.39	0.57	0.83	0.95	1.42	1.54
1989	2.37	3.80	3.95	3.07	1.00	0.50	0.32	0.36	0.40	0.86	1.30	0.78	1.56
1990	1.82	1.41	1.48	1.10	0.66	0.68	0.42	0.32	0.42	1.41	1.83	1.49	1.09
1991	1.81	2.04	3.02	1.84	1.13	0.56	0.38	0.37	0.39	1.16	1.18	1.19	1.26
1992	1.67	1.33	1.34	1.44	1.04	0.70	0.40	0.46	0.43	0.76	0.85	1.52	1.00
1993	2.01	3.92	4.42	3.28	1.40	0.67	0.45	0.40	0.98	1.09	3.14	4.51	2.19
1994	4.93	7.26	4.91	3.90	0.85	0.45	0.25	0.25	0.30	0.68	1.11	1.42	2.19
1995	2.37	1.82	5.12	2.55	0.97	0.43	0.30	0.28	0.65	0.81	1.55	1.54	1.53
1996	3.31	4.74	4.63	3.54	1.53	0.64	0.43	0.38	0.51	1.22	0.86	1.19	1.92
1997	1.87	2.97	1.03	0.75	1.05	0.55	0.39	0.42	0.61	0.95	1.16	1.45	1.10
1998	3.77	10.90	5.02	2.53	1.11	0.65	0.41	0.52	0.62	1.69	0.88	1.20	2.44
1999	0.59	3.53	2.26	0.78	0.99	0.68	0.57	0.61	0.78	0.83	1.49	2.05	1.26
2000	3.12	9.80	5.89	2.86	1.15	0.65	0.38	0.48	0.57	0.93	1.57	2.81	2.52
2001	3.56	3.58	5.79	2.97	1.11	0.61	0.44	0.44	0.62	1.05	1.96	2.19	2.03
2002	2.59	3.06	4.27	3.28	1.22	0.60	0.46	0.46	0.61	1.51	1.33	1.49	1.74
2003	1.77	2.51	2.69	1.65	0.82	0.45	0.31	0.31	0.42	0.75	1.02	1.39	1.17
Promedio	2.63	3.72	3.70	2.45	1.24	0.66	0.46	0.45	0.62	1.12	1.52	2.06	1.72
Máximo	4.93	10.90	5.89	3.90	2.31	1.26	0.79	0.74	1.04	1.89	3.52	4.51	2.52
Mínimo	0.59	1.33	1.03	0.75	0.66	0.43	0.25	0.25	0.30	0.64	0.85	0.78	1.00
Desv. Est	0.90	1.86	1.25	0.76	0.34	0.17	0.12	0.11	0.17	0.34	0.63	0.89	0.36

Anexo 5: Valores para la construcción de Hidrogramas de Estaciones

		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
PARÓN	Caudal	2.16	2.31	2.36	2.19	1.73	1.30	1.02	0.91	0.96	1.05	1.31	1.72	1.585
	Cm	1.363	1.458	1.489	1.380	1.089	0.821	0.646	0.571	0.606	0.661	0.828	1.087	
LLANGANUCO	Caudal	3.94	4.28	4.52	3.74	2.67	2.18	2.00	1.99	1.96	2.22	2.880	3.48	2.988
	Cm	1.319	1.432	1.513	1.252	0.894	0.730	0.669	0.666	0.656	0.742	0.964	1.164	
QUERACOCHA	Caudal	2.63	3.72	3.70	2.45	1.24	0.66	0.46	0.45	0.62	1.12	1.52	2.06	1.719
	Cm	1.532	2.164	2.151	1.428	0.721	0.386	0.265	0.262	0.360	0.651	0.882	1.198	

Anexo 6: Caudal Ecológico Referencial (CER) - ANA: Estación Parón

Caudal Ecológico Referencial (CER) - ESTACIÓN PARÓN														
Año	m	p(%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1954	1	2	3.41	3.10	2.95	2.78	2.35	1.81	1.48	1.30	1.36	1.43	1.84	2.56
1955	2	4	3.01	2.95	2.82	2.64	2.19	1.76	1.39	1.30	1.29	1.33	1.79	2.24
1956	3	6	2.99	2.95	2.82	2.61	2.19	1.67	1.36	1.19	1.27	1.31	1.65	2.24
1957	4	8	2.91	2.93	2.79	2.60	2.14	1.65	1.30	1.15	1.22	1.30	1.53	2.10
1958	5	10	2.83	2.86	2.77	2.56	2.12	1.54	1.27	1.15	1.19	1.29	1.50	2.05
1959	6	12	2.71	2.78	2.75	2.52	2.10	1.53	1.27	1.15	1.15	1.27	1.49	2.02
1960	7	14	2.65	2.77	2.70	2.47	2.06	1.49	1.24	1.15	1.13	1.25	1.49	2.02
1961	8	16	2.65	2.67	2.62	2.46	2.00	1.45	1.19	1.11	1.12	1.24	1.47	2.01
1962	9	18	2.63	2.66	2.56	2.43	1.97	1.45	1.18	1.09	1.10	1.23	1.46	1.93
1963	10	20	2.6	2.65	2.56	2.43	1.93	1.44	1.16	1.05	1.09	1.16	1.45	1.88
1964	11	22	2.59	2.61	2.55	2.43	1.93	1.42	1.15	1.03	1.09	1.15	1.42	1.86
1965	12	24	2.56	2.59	2.55	2.40	1.90	1.42	1.15	1.01	1.08	1.15	1.42	1.86
1966	13	26	2.47	2.55	2.55	2.39	1.89	1.42	1.13	1.00	1.08	1.15	1.41	1.83
1967	14	28	2.43	2.51	2.54	2.38	1.85	1.41	1.12	0.99	1.07	1.15	1.41	1.82
1968	15	30	2.33	2.50	2.54	2.38	1.84	1.41	1.11	0.98	1.05	1.14	1.40	1.78
1969	16	32	2.33	2.47	2.54	2.35	1.84	1.40	1.10	0.95	1.05	1.14	1.39	1.78
1970	17	34	2.27	2.46	2.51	2.34	1.81	1.39	1.10	0.95	1.05	1.14	1.38	1.78
1971	18	36	2.25	2.44	2.48	2.33	1.81	1.38	1.09	0.94	1.04	1.13	1.38	1.78
1972	19	38	2.24	2.43	2.48	2.31	1.81	1.38	1.07	0.93	1.03	1.12	1.38	1.77
1973	20	40	2.24	2.43	2.48	2.30	1.79	1.37	1.07	0.91	1.03	1.12	1.37	1.76
1974	21	42	2.21	2.42	2.48	2.28	1.78	1.36	1.07	0.91	1.03	1.11	1.37	1.75
1975	22	44	2.21	2.42	2.46	2.25	1.77	1.35	1.07	0.90	1.03	1.11	1.37	1.74
1976	23	46	2.18	2.41	2.44	2.24	1.76	1.34	1.05	0.89	1.00	1.09	1.35	1.72
1977	24	48	2.13	2.39	2.39	2.24	1.76	1.32	1.04	0.88	0.98	1.09	1.35	1.72
1978	25	50	2.13	2.32	2.32	2.21	1.75	1.32	1.02	0.88	0.96	1.09	1.33	1.71
1979	26	52	2.10	2.31	2.31	2.20	1.72	1.29	1.00	0.88	0.96	1.08	1.33	1.70
1980	27	54	2.06	2.31	2.30	2.17	1.72	1.26	0.98	0.87	0.95	1.06	1.32	1.68
1981	28	56	2.05	2.29	2.29	2.17	1.69	1.23	0.96	0.86	0.93	1.05	1.31	1.67
1982	29	58	2.05	2.29	2.29	2.16	1.68	1.23	0.96	0.86	0.93	1.05	1.31	1.67
1983	30	60	2.01	2.27	2.28	2.16	1.64	1.22	0.95	0.83	0.93	1.04	1.31	1.67
1984	31	62	1.98	2.25	2.28	2.14	1.62	1.19	0.94	0.83	0.93	1.04	1.30	1.65
1985	32	64	1.97	2.14	2.24	2.14	1.62	1.18	0.94	0.83	0.93	1.04	1.29	1.65
1986	33	66	1.92	2.12	2.23	2.13	1.61	1.18	0.94	0.83	0.92	1.02	1.29	1.65
1987	34	68	1.91	2.08	2.23	2.12	1.61	1.17	0.94	0.82	0.88	1.02	1.28	1.64
1988	35	70	1.88	2.08	2.17	2.10	1.61	1.17	0.93	0.82	0.87	0.97	1.25	1.63
1989	36	72	1.87	2.07	2.17	2.09	1.58	1.17	0.93	0.82	0.84	0.94	1.25	1.62
1990	37	74	1.84	2.05	2.17	2.08	1.57	1.16	0.90	0.79	0.83	0.94	1.25	1.62
1991	38	76	1.83	2.03	2.16	2.08	1.56	1.15	0.90	0.79	0.82	0.94	1.25	1.61
1992	39	78	1.81	1.95	2.15	2.07	1.55	1.15	0.88	0.78	0.81	0.91	1.17	1.6
1993	40	80	1.79	1.94	2.15	2.01	1.51	1.15	0.86	0.77	0.79	0.90	1.16	1.59
1994	41	82	1.77	1.93	2.12	1.96	1.50	1.11	0.85	0.75	0.79	0.86	1.12	1.53
1995	42	84	1.74	1.93	2.12	1.95	1.49	1.11	0.85	0.74	0.78	0.86	1.12	1.53
1996	43	86	1.68	1.89	2.12	1.91	1.48	1.11	0.82	0.74	0.77	0.85	1.11	1.50
1997	44	88	1.68	1.86	2.11	1.81	1.44	1.10	0.82	0.73	0.77	0.84	1.07	1.47
1998	45	90	1.66	1.82	2.11	1.76	1.42	1.06	0.8	0.71	0.77	0.81	1.06	1.42
1999	46	92	1.60	1.81	2.08	1.69	1.39	1.05	0.78	0.70	0.70	0.76	1.06	1.39
2000	47	94	1.58	1.77	1.98	1.68	1.33	1.05	0.78	0.69	0.69	0.76	0.97	1.32
2001	48	96	1.52	1.76	1.90	1.50	1.31	1.04	0.78	0.68	0.66	0.69	0.94	1.23
2002	49	98	1.51	1.71	1.70	1.48	1.26	1.02	0.78	0.68	0.64	0.68	0.87	1.20
2003	50	100	1.21	1.56	1.68	1.47	1.03	0.99	0.75	0.66	0.61	0.61	0.84	1.17
Avarage		51	2.16	2.31	2.36	2.19	1.73	1.30	1.02	0.91	0.96	1.05	1.31	1.72
Maximun		100	3.41	3.1	2.95	2.78	2.35	1.81	1.48	1.3	1.36	1.43	1.84	2.56
Minimun		2	1.21	1.56	1.68	1.47	1.03	0.99	0.75	0.66	0.61	0.61	0.84	1.17
Q95			1.55	1.77	1.94	1.59	1.32	1.05	0.78	0.69	0.68	0.73	0.96	1.28

Anexo 7: Caudal Ecológico Referencial (CER) - ANA: Estación Llanganuco

Caudal Ecológico Referencial (CER) - ESTACIÓN LLANGANUCO														
Año	m	p(%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1954	1	2	5.98	6.23	6.72	5.80	3.87	3.25	3.70	3.25	3.57	3.70	5.00	4.97
1955	2	4	5.75	6.04	6.26	5.04	3.61	3.20	3.04	3.02	3.30	3.11	3.63	4.78
1956	3	6	5.72	5.89	6.22	4.71	3.59	3.02	2.74	2.74	2.74	2.92	3.52	4.61
1957	4	8	5.71	5.81	6.13	4.70	3.29	3.01	2.73	2.52	2.56	2.82	3.46	4.53
1958	5	10	4.99	5.45	5.75	4.69	3.21	2.95	2.65	2.51	2.54	2.78	3.42	4.18
1959	6	12	4.95	5.32	5.75	4.58	3.20	2.95	2.63	2.5	2.44	2.73	3.32	4.15
1960	7	14	4.77	5.20	5.58	4.57	3.14	2.67	2.50	2.46	2.42	2.72	3.25	4.11
1961	8	16	4.76	5.14	5.51	4.27	3.14	2.66	2.35	2.40	2.39	2.61	3.25	4.08
1962	9	18	4.73	5.08	5.34	4.22	3.11	2.60	2.33	2.25	2.27	2.57	3.23	4.02
1963	10	20	4.61	5.07	5.23	4.21	3.11	2.59	2.15	2.22	2.24	2.55	3.21	3.94
1964	11	22	4.55	4.97	5.22	4.21	3.01	2.56	2.14	2.22	2.24	2.53	3.21	3.93
1965	12	24	4.50	4.87	5.22	4.16	2.97	2.53	2.14	2.19	2.22	2.49	3.18	3.90
1966	13	26	4.44	4.87	5.06	4.12	2.94	2.48	2.13	2.16	2.15	2.48	3.18	3.89
1967	14	28	4.43	4.72	5.04	4.08	2.89	2.47	2.11	2.15	2.08	2.48	3.17	3.89
1968	15	30	4.33	4.71	4.96	4.04	2.89	2.47	2.08	2.10	2.07	2.46	3.17	3.85
1969	16	32	4.32	4.63	4.88	3.96	2.88	2.40	2.07	2.10	2.07	2.41	3.10	3.84
1970	17	34	4.17	4.61	4.81	3.95	2.87	2.38	2.06	2.09	2.03	2.37	3.09	3.84
1971	18	36	4.17	4.60	4.70	3.94	2.85	2.37	2.03	2.09	2.03	2.36	3.08	3.78
1972	19	38	4.09	4.60	4.69	3.92	2.83	2.35	2.03	2.07	1.97	2.34	3.06	3.73
1973	20	40	4.03	4.47	4.67	3.87	2.76	2.27	2.03	2.06	1.96	2.33	3.04	3.73
1974	21	42	4.02	4.47	4.65	3.87	2.75	2.19	2.01	2.05	1.96	2.32	3.03	3.72
1975	22	44	3.97	4.42	4.57	3.84	2.74	2.19	2.01	2.03	1.96	2.27	3.03	3.64
1976	23	46	3.95	4.40	4.54	3.82	2.73	2.18	2.00	2.02	1.95	2.26	3.02	3.57
1977	24	48	3.86	4.31	4.53	3.80	2.72	2.15	2.00	2.00	1.94	2.25	3.01	3.52
1978	25	50	3.86	4.21	4.52	3.80	2.70	2.15	1.98	1.96	1.93	2.23	3.00	3.51
1979	26	52	3.83	4.05	4.50	3.77	2.56	2.12	1.94	1.93	1.91	2.21	2.99	3.49
1980	27	54	3.83	4.03	4.49	3.76	2.54	2.02	1.93	1.91	1.90	2.21	2.96	3.49
1981	28	56	3.81	4.00	4.36	3.67	2.52	2.00	1.88	1.91	1.89	2.18	2.92	3.41
1982	29	58	3.81	3.93	4.31	3.63	2.49	1.97	1.87	1.91	1.85	2.17	2.91	3.39
1983	30	60	3.80	3.92	4.25	3.62	2.48	1.96	1.86	1.86	1.85	2.16	2.88	3.34
1984	31	62	3.79	3.88	4.20	3.61	2.48	1.94	1.85	1.83	1.84	2.13	2.85	3.32
1985	32	64	3.73	3.85	4.19	3.56	2.46	1.93	1.83	1.81	1.84	2.09	2.77	3.3
1986	33	66	3.68	3.82	4.18	3.55	2.46	1.91	1.83	1.80	1.83	2.07	2.73	3.30
1987	34	68	3.66	3.78	4.11	3.50	2.41	1.87	1.81	1.78	1.80	2.06	2.66	3.27
1988	35	70	3.54	3.71	4.10	3.44	2.40	1.87	1.74	1.76	1.74	2.02	2.63	3.21
1989	36	72	3.47	3.66	4.04	3.41	2.39	1.85	1.70	1.75	1.71	1.98	2.62	3.15
1990	37	74	3.45	3.60	4.04	3.40	2.39	1.84	1.70	1.71	1.68	1.97	2.60	3.13
1991	38	76	3.33	3.60	3.89	3.32	2.36	1.81	1.70	1.71	1.65	1.84	2.58	3.07
1992	39	78	3.25	3.59	3.75	3.22	2.31	1.80	1.70	1.66	1.63	1.83	2.50	3.07
1993	40	80	3.25	3.58	3.70	3.20	2.27	1.80	1.70	1.64	1.63	1.83	2.48	3.07
1994	41	82	3.20	3.58	3.69	3.16	2.23	1.79	1.69	1.63	1.62	1.80	2.45	2.97
1995	42	84	3.17	3.57	3.57	3.14	2.23	1.77	1.67	1.61	1.61	1.77	2.38	2.9
1996	43	86	3.14	3.51	3.56	3.13	2.22	1.74	1.65	1.57	1.58	1.75	2.27	2.84
1997	44	88	3.08	3.38	3.56	3.05	2.19	1.71	1.60	1.57	1.57	1.73	2.27	2.83
1998	45	90	3.00	3.38	3.56	2.99	2.11	1.71	1.60	1.57	1.55	1.71	2.27	2.64
1999	46	92	2.85	3.36	3.37	2.70	2.07	1.69	1.57	1.51	1.55	1.63	2.19	2.37
2000	47	94	2.68	3.35	3.28	2.66	2.06	1.56	1.52	1.47	1.36	1.51	1.95	2.29
2001	48	96	2.68	3.12	3.24	2.61	2.05	1.54	1.49	1.43	1.25	1.49	1.92	2.26
2002	49	98	2.26	3.11	2.87	2.45	2.05	1.49	1.34	1.43	1.21	1.43	1.85	2.17
2003	50	100	2.08	2.56	2.73	2.42	1.96	1.33	1.34	1.34	1.12	1.22	1.84	2.17
	Avarage	51	3.94	4.28	4.52	3.74	2.67	2.18	2.00	1.99	1.96	2.22	2.88	3.48
	Maximun	100	5.98	6.23	6.72	5.8	3.87	3.25	3.70	3.25	3.57	3.7	5	4.97
	Minimun	2	2.08	2.56	2.73	2.42	1.96	1.33	1.34	1.34	1.12	1.22	1.84	2.17
	Q95		2.68	3.24	3.26	2.64	2.06	1.55	1.51	1.45	1.31	1.50	1.94	2.28

Anexo 8: Caudal Ecológico Referencial (CER) - ANA: Estación Queracocha

Caudal Ecológico Referencial (CER) - ESTACIÓN QUERACOCHA														
Año	m	p(%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1954	1	2	4.93	10.90	5.89	3.90	2.31	1.26	0.79	0.74	1.04	1.89	3.52	4.51
1955	2	4	4.32	9.80	5.79	3.83	2.15	1.17	0.78	0.72	0.98	1.85	3.14	4.11
1956	3	6	4.25	7.26	5.72	3.64	2.11	1.06	0.78	0.62	0.98	1.71	3.08	3.65
1957	4	8	4.14	6.24	5.67	3.54	1.96	1.00	0.62	0.62	0.94	1.70	2.64	3.54
1958	5	10	4.13	5.65	5.64	3.52	1.60	0.82	0.62	0.61	0.94	1.69	2.55	3.43
1959	6	12	3.90	5.39	5.12	3.43	1.57	0.80	0.58	0.61	0.89	1.61	2.24	3.35
1960	7	14	3.77	5.32	5.11	3.32	1.53	0.78	0.58	0.59	0.86	1.59	2.15	3.35
1961	8	16	3.56	5.14	5.04	3.28	1.50	0.78	0.57	0.58	0.79	1.51	2.01	3.23
1962	9	18	3.51	5.11	5.02	3.28	1.49	0.76	0.57	0.57	0.79	1.42	1.96	3.12
1963	10	20	3.48	4.81	4.91	3.27	1.43	0.75	0.53	0.55	0.78	1.41	1.94	2.86
1964	11	22	3.31	4.75	4.90	3.22	1.42	0.74	0.53	0.54	0.77	1.41	1.83	2.81
1965	12	24	3.30	4.74	4.78	3.07	1.40	0.72	0.52	0.52	0.73	1.38	1.78	2.78
1966	13	26	3.27	4.12	4.75	2.97	1.39	0.71	0.51	0.52	0.71	1.36	1.77	2.69
1967	14	28	3.24	3.99	4.72	2.92	1.38	0.70	0.51	0.52	0.67	1.34	1.73	2.60
1968	15	30	3.12	3.95	4.63	2.87	1.36	0.70	0.50	0.51	0.66	1.32	1.72	2.42
1969	16	32	3.08	3.92	4.42	2.86	1.25	0.68	0.48	0.50	0.65	1.28	1.70	2.39
1970	17	34	3.03	3.83	4.38	2.76	1.25	0.68	0.47	0.49	0.63	1.26	1.63	2.29
1971	18	36	2.94	3.80	4.27	2.71	1.24	0.68	0.46	0.48	0.62	1.22	1.57	2.25
1972	19	38	2.93	3.75	4.14	2.61	1.23	0.68	0.46	0.48	0.62	1.20	1.56	2.22
1973	20	40	2.77	3.71	3.96	2.59	1.23	0.68	0.46	0.48	0.61	1.16	1.55	2.19
1974	21	42	2.69	3.67	3.95	2.58	1.23	0.67	0.45	0.47	0.61	1.16	1.55	2.07
1975	22	44	2.59	3.58	3.93	2.55	1.22	0.66	0.45	0.46	0.61	1.15	1.49	2.05
1976	23	46	2.53	3.53	3.92	2.53	1.20	0.66	0.45	0.46	0.60	1.09	1.46	1.90
1977	24	48	2.51	3.53	3.79	2.48	1.20	0.66	0.44	0.46	0.60	1.08	1.40	1.86
1978	25	50	2.50	3.39	3.64	2.47	1.16	0.65	0.44	0.45	0.58	1.08	1.36	1.79
1979	26	52	2.38	3.19	3.61	2.46	1.15	0.65	0.44	0.45	0.58	1.05	1.35	1.67
1980	27	54	2.37	3.14	3.48	2.43	1.13	0.65	0.43	0.44	0.57	1.05	1.33	1.60
1981	28	56	2.37	3.13	3.45	2.39	1.13	0.65	0.43	0.42	0.57	1.04	1.30	1.56
1982	29	58	2.36	3.08	3.36	2.34	1.11	0.64	0.42	0.41	0.57	1.04	1.25	1.55
1983	30	60	2.36	3.06	3.32	2.32	1.11	0.63	0.41	0.40	0.56	0.97	1.24	1.54
1984	31	62	2.36	2.98	3.30	2.29	1.09	0.62	0.40	0.40	0.55	0.95	1.21	1.52
1985	32	64	2.36	2.97	3.26	2.25	1.06	0.62	0.40	0.40	0.53	0.95	1.18	1.50
1986	33	66	2.03	2.73	3.19	2.21	1.06	0.62	0.40	0.39	0.53	0.95	1.18	1.49
1987	34	68	2.01	2.71	3.11	2.17	1.06	0.61	0.39	0.39	0.52	0.94	1.16	1.49
1988	35	70	1.96	2.65	3.02	2.15	1.05	0.60	0.39	0.39	0.52	0.93	1.11	1.45
1989	36	72	1.95	2.61	3.00	2.02	1.04	0.60	0.39	0.38	0.51	0.86	1.08	1.42
1990	37	74	1.94	2.61	2.96	1.98	1.04	0.56	0.38	0.38	0.51	0.83	1.02	1.42
1991	38	76	1.93	2.57	2.89	1.90	1.04	0.56	0.38	0.37	0.51	0.83	1.02	1.41
1992	39	78	1.88	2.54	2.89	1.87	1.02	0.55	0.38	0.37	0.51	0.81	0.98	1.39
1993	40	80	1.87	2.51	2.69	1.84	1.01	0.54	0.37	0.37	0.50	0.77	0.96	1.33
1994	41	82	1.84	2.40	2.62	1.83	1.01	0.52	0.36	0.37	0.49	0.76	0.96	1.23
1995	42	84	1.82	2.34	2.33	1.75	1.00	0.50	0.36	0.37	0.46	0.76	0.95	1.21
1996	43	86	1.81	2.24	2.26	1.72	0.99	0.47	0.35	0.36	0.45	0.76	0.95	1.20
1997	44	88	1.77	2.17	2.21	1.65	0.97	0.46	0.34	0.36	0.44	0.76	0.94	1.20
1998	45	90	1.72	2.04	2.12	1.52	0.95	0.46	0.32	0.32	0.43	0.75	0.94	1.19
1999	46	92	1.67	2.03	1.94	1.44	0.92	0.46	0.32	0.31	0.42	0.71	0.91	1.19
2000	47	94	1.67	1.94	1.90	1.35	0.85	0.46	0.31	0.31	0.42	0.68	0.90	1.16
2001	48	96	1.61	1.82	1.48	1.10	0.82	0.45	0.30	0.29	0.40	0.67	0.88	1.12
2002	49	98	1.20	1.41	1.34	0.78	0.69	0.45	0.28	0.28	0.39	0.65	0.86	1.07
2003	50	100	0.59	1.33	1.03	0.75	0.66	0.43	0.25	0.25	0.30	0.64	0.85	0.78
	Avarage	51	2.6326	3.7216	3.697	2.4542	1.2354	0.6642	0.455	0.4546	0.618	1.1196	1.5168	2.063
	Maximun	100	4.93	10.9	5.89	3.9	2.31	1.26	0.79	0.74	1.04	1.89	3.52	4.51
	Minimun	2	0.59	1.33	1.03	0.75	0.66	0.43	0.25	0.25	0.3	0.64	0.85	0.78
	Q95		1.64	1.88	1.69	1.23	0.84	0.46	0.31	0.3	0.41	0.68	0.89	1.14