

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS
EN LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC”**

Presentada por:

DIEGO VALOIS BERNUY VILCA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Lima – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

**“DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS
EN LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC”**

Presentada por:

DIEGO VALOIS BERNUY VILCA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mestre Eng. Esaúl Obregón Párraga
PRESIDENTE

Ing. Lawrence Quipuzco Ushñahua
MIEMBRO

Mg. Sc. Rosa Miglio Toledo
MIEMBRO

Mg Sc. Wilfredo Baldeón Quispe
ASESOR

Dra. Rosemary Vela Cardich
Co – ASESORA

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre, por todas las enseñanzas, los consejos, las risas y momentos llenos de amor y tanta felicidad que compartimos juntos.

A mi papá, don Valois Vilca, por todo su esfuerzo, sus enseñanzas, su apoyo y por el ejemplo que siempre será para mí.

A mi hermana, Karla Paola, por representar la dedicación y superación en los momentos más difíciles.

A toda mi familia, por el apoyo brindado.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor y asesor, Wilfredo Baldeón, por el todo apoyo brindado, por la comprensión y el seguimiento a lo largo de la toda la realización de esta investigación.

A los profesionales de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, por abrirme las puertas y atender mis inquietudes con cariño y aprecio en el inicio del camino profesional.

A Lucio Vergara, amigo que con sus consejos y visión me ayudó a iniciar esta tesis.

A Oscar Felipe Obando y al Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES – SINAC), por el apoyo indispensable para esta investigación

A mi amigo Miguel Rodríguez, por su apoyo y asesoría.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. LA CONSERVACIÓN ECOLÓGICA DE LOS RÍOS	3
2.2. RELACIÓN ENTRE EL RÉGIMEN DE CAUDALES Y LOS ECOSISTEMAS FLUVIALES	4
2.3. IMPORTANCIA DE LOS CAUDALES MÍNIMOS Y LAS CRECIDAS EN LA DIMÁMICA DE ECOSISTEMAS	5
2.4. ALTERACIÓN DE LOS REGÍMENES DE CAUDALES NATURALES	6
2.5. LOS RÍOS COMO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA	7
2.6. CALIDAD DEL AGUA EN ECOSISTEMAS FLUVIALES	8
2.7. LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC	9
2.7.1. Caracterización ambiental de la cuenca	10
2.8. LOS CAUDALES ECOLÓGICOS	25
2.8.1. El Caudal Ecológico y la Gestión Integral de los Recursos Hídricos	26
2.8.2. Metodologías para el cálculo de Caudales Ecológicos	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1. MATERIALES.....	36
3.2. METODOLOGÍA	37
3.2.1. Análisis de la información existente	37
3.2.2. Método del Caudal Básico de Mantenimiento	45
3.2.3. El Caudal Ecológico Referencial (CER).....	51

3.2.4. Calidad del agua superficial	52
3.2.5. Calculo del caudal para el cumplimiento de Estándares de Calidad Ambiental para Agua (QECA)	53
3.2.6. Determinación del Caudal Ecológico en el río Rímac	55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. RESULTADOS	57
4.1.1. Análisis de la información existente	57
4.1.2. Método del Caudal Básico de Mantenimiento	65
4.1.3. Caudal Ecológico Referencial (CER).....	76
4.1.4. Calidad del Agua Superficial	79
4.1.5. Caudal calculado para el cumplimiento de Estándares de Calidad Ambiental para Agua (QECA)	85
4.2. DISCUSIONES	89
4.2.1. Análisis de la información existente	89
4.2.2. El Método del Caudal Básico de Mantenimiento.....	91
4.2.3. El Caudal Ecológico Referencial (CER)	94
4.2.4. Calidad del Agua Superficial	99
4.2.5. Caudal calculado para el cumplimiento de Estándares de Calidad Ambiental para Agua (QECA)	104
V. CONCLUSIONES	107
VI. RECOMENDACIONES	109
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
VIII. ANEXOS.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: División hidrográfica de la cuenca del río Rímac.	10
Tabla 2: Clasificación climática según Thornthwaite.	11
Tabla 3: Clasificación climática basada en el sistema Thornthwaite.	11
Tabla 4: Inventario de fuentes de agua superficial en la cuenca del río Rímac.	12
Tabla 5: Población proyectada en la ciudad de Lima.	13
Tabla 6: Estaciones de monitoreo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Rímac.	15
Tabla 7: Criterios de evaluación de riesgos (método del percentil).	16
Tabla 8: Puntos de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Rímac – Abril 2012.	17
Tabla 9: Vertimientos en la cuenca del río Rímac.	19
Tabla 10: Evaluación de Calidad del Agua (2000 – 2004) – DIGESA.	20
Tabla 11: Evaluación de Calidad del Agua (2005 – 2009) – DIGESA.	21
Tabla 12: Evaluación de Calidad del Agua (2010 – 2012) – DIGESA y ANA.	23
Tabla 13: Fuentes de información hidrológica.	36
Tabla 14: Puntos de monitoreo seleccionados para evaluar la calidad de agua superficial.	37
Tabla 15: Periodos de cálculo de Caudales de Mantenimiento.	47
Tabla 16: Matriz de cálculo de CER.	52
Tabla 17: Periodos de registro que definen el Caudal Ecologico en la cuenca del río Rímac.	56
Tabla 18: Caudales Básicos (1990 – 2009) de la Estación Hidrométrica Chosica.	66

Tabla 19: Caudales de Mantenimiento (1990 – 2009) – Estación Hidrométrica Chosica.	68
Tabla 20: Caudales Básicos (1990 – 2014) de la Estación Hidrométrica Sheque.	70
Tabla 21: Caudales de Mantenimiento (1990 – 2014) – Estación Hidrométrica Sheque.	72
Tabla 22: Caudales Básicos (1970 – 2014) de la Estación Hidrométrica Tamboraque.	73
Tabla 23: Caudales de Mantenimiento (1970 – 2014) – Estación Hidrométrica Tamboraque.	75
Tabla 24: CER (1990 – 2009) y Caudales con 95 por ciento de persistencia para el periodo 1921 – 2009 (ANA, 2010) – Estación Hidrométrica Chosica.	77
Tabla 25: CER (1990 – 2014) y Caudales con 95 por ciento de persistencia para el periodo 1965 – 2009 (ANA, 2010) – Estación Hidrométrica Sheque.	78
Tabla 26: CER (1970 – 2014) y Caudales con 95 por ciento de persistencia para el periodo 1965 – 2009 (ANA, 2010) – Estación Hidrométrica Tamboraque.	78
Tabla 27: Resultados de Monitoreo de Calidad del Agua – Estación E-14.	80
Tabla 28: Resultados de Monitoreo de Calidad del Agua – Estación E-08.	82
Tabla 29: Resultados de Monitoreo de Calidad del Agua – Estación RArur-2.	84
Tabla 30: Caudales medios mensuales multianuales (Qmm) – Estación Hidrométrica Chosica, periodo 1921 – 2009.	86
Tabla 31: Cargas máxicas contaminantes – Estación Hidrométrica Chosica.	86
Tabla 32: Caudales de cumplimiento de los ECA (m ³ /s) según cargas máxicas (QECA).	87
Tabla 33: Caudales medios mensuales multianuales (Qmm) – Estación Hidrométrica Tamboraque, periodo 1970 – 2014.	88
Tabla 34: Cargas máxicas contaminantes – Estación Hidrométrica Tamboraque.	88
Tabla 35: Caudales de cumplimiento de los ECA (m ³ /s) según cargas máxicas (QECA).	89
Tabla 36: Qb máxicos y mínimos – Estación Hidrométrica Chosica.	91

Tabla 37: Regímenes de Caudales de Mantenimiento (RQm) obtenidos para la Estación Hidrométrica Chosica.	92
Tabla 38: Qb máximos y mínimos – Estación Hidrométrica Sheque.	92
Tabla 39: Regímenes de Caudales de Mantenimiento obtenidos para la Estación Hidrométrica Sheque.	93
Tabla 40: Qb máximos y mínimos – Estación Hidrométrica Tamboraque.	93
Tabla 41: Regímenes de Caudales de Mantenimiento obtenidos para la Estación Hidrométrica Tamboraque.	94
Tabla 42: Grupos de meses que representan el Caudal Ecológico.	94
Tabla 43: Regímenes de Caudales Ecológicos (RQeco) representativos del río Rímac.	98
Tabla 44: Caudal calculado (Q_{ECA}), caudal medio mensual y caudal ecológico.	105
Tabla 45: Caudal calculado (Q_{ECA}), caudal medio mensual y caudal ecológico.	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo Hidrológico.	3
Figura 2: Componentes del régimen de caudales que determinan la integridad de los ecosistemas fluviales.	6
Figura 3: Central Hidroeléctrica Huinco.	8
Figura 4: Fuentes de agua superficial en la Cuenca del río Rímac.	12
Figura 5: Esquema del proceso de aprobación de Caudales Ecológicos.	26
Figura 6: Relación entre el caudal y el perímetro mojado a partir de la cual se deduce el caudal mínimo.	30
Figura 7: Principales partes integrantes del modelo PHABSIM.	34
Figura 8: Ubicación de Estaciones Hidrométricas y puntos de monitoreo de Calidad de Agua.	38
Figura 9: Hidrograma de caudales medios diarios (CMD) no regulados – Año 1993.	39
Figura 10: Esquema metodológico del estudio para la definición del año hidrológico.	46
Figura 11: Matriz de Caudales Medios Diarios (CMD).	48
Figura 12: Matriz trapezoidal de medias móviles de caudales medios diarios.	49
Figura 13: Matriz de medias móviles mínimas de caudales medios diarios.	50
Figura 14: Caudales Básicos (1990 – 2009) de la Estación Hidrométrica Chosica.	67
Figura 15: Caudales de Mantenimiento (1990 – 2009). Estación Hidrométrica Chosica.	69
Figura 16: Caudales Básicos (1990 – 2014) de la Estación Hidrométrica Sheque.	70
Figura 17: Caudales de Mantenimiento (1990 – 2014). Estación Hidrométrica Sheque.	71
Figura 18: Caudales Básicos (1970 – 2014) de la Estación Hidrométrica Tamboraque.	74

Figura 19: Caudales de Mantenimiento (1970 – 2014). Estación Hidrométrica Tamboraque.....	76
Figura 20: Caudal Ecológico Referencial, Caudales de Mantenimiento (1990 – 2009) y Caudales calculados por ANA (2010). Estación Hidrométrica Chosica.....	95
Figura 21: Caudal Ecológico Referencial, Caudales de Mantenimiento (1990 – 2014) y Caudales calculados por ANA (2010). Estación Hidrométrica Sheque.....	96
Figura 22: Régimen del Caudal Ecológico Referencial vs Caudales de Mantenimiento, periodo 1990 – 2014 vs. Caudales calculados por ANA (2010). Estación Hidrométrica Tamboraque.....	97
Figura 23: Regímenes de Caudales Ecológicos (RQeco) representativos del río Rímac (m ³ /s) – Estaciones Hidrométricas Chosica, Sheque y Tamboraque	98
Figura 24: Ubicación de Depósitos de Relaves junto al río Rímac.....	102

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Caudales Medios Mensuales (1921 – 2009) - Estación Chosica.....	118
Anexo 2: Caudales Medios Mensuales (1965 – 2014) – Estación Sheque.	121
Anexo 3: Caudales Medios Mensuales (1965 – 2014) – Estación Tamboraque.....	123
Anexo 4: Hidrogramas de Caudales Medios Diarios (CMD) no regulados - Estación Hidrométrica Chosica.	125
Anexo 5: Hidrogramas de caudales medios diarios (CMD) no regulados - Estación Hidrométrica Sheque.	130
Anexo 6: Hidrogramas de caudales medios diarios (CMD) no regulados - Estación Hidrométrica Tamboraque.....	136
Anexo 7: Cálculo de probabilidades de ocurrencia de caudales medios mensuales. Estación Hidrométrica Chosica. Periodo 1990 – 2009.....	142
Anexo 8: Cálculo de probabilidades de ocurrencia de caudales medios mensuales. Estación Hidrométrica Sheque. Periodo 1990 – 2014.....	143
Anexo 9: Cálculo de probabilidades de ocurrencia de caudales medios mensuales. Estación Hidrométrica Tamboraque. Periodo 1970 – 2014.....	144

RESUMEN

La costa peruana se caracteriza por su aridez y escasa precipitación presentando un déficit hídrico en gran parte del año. En la cuenca del río Rímac, la mayor demanda de agua es para el uso poblacional, seguido del uso agrícola, el uso minero y la actividad industrial; sin embargo, el uso de este recurso no está regulado y no se han realizado estudios sobre caudales ecológicos en la cuenca.

Actualmente, existe la necesidad de optar por una propuesta de gestión ambiental de la cuenca que garantice la sostenibilidad del ecosistema fluvial (Palau, 2004). Esta propuesta debe tener en cuenta, según las características de cada río, al menos dos componentes: un Régimen de Caudales Ecológicos, es decir, un régimen de caudales mínimos determinados por un factor de variabilidad temporal acorde con su régimen hidrológico, la comunidad biológica presente y su desarrollo, los usos del recurso por las comunidades, su valor cultural, etc.; y además, llevar un control de la calidad del agua mediante parámetros físico – químicos y biológicos.

El Régimen de Caudales Ecológicos puede ser obtenido siguiendo diversos métodos, clasificados según las características o particularidades del río, o en función a los parámetros a utilizar en el proceso de cálculo. Estos métodos se clasifican en: métodos hidrológicos, métodos hidráulicos, métodos eco-hidráulicos o de simulación de hábitat y métodos holísticos.

En la presente investigación se emplea método hidrológico del Caudal Básico de Mantenimiento para determinar el Régimen de Caudales Ecológicos en la cuenca del río Rímac a partir de registros de caudales de las Estaciones Hidrométricas de Chosica, Sheque y Tamboraque. Asimismo, se calcularon los Caudales Ecológicos Referenciales establecidos por la Autoridad Nacional del Agua mediante un método estadístico, con el fin de comparar ambos resultados.

Adicionalmente, se analizaron los resultados de monitoreos de la calidad del agua superficial realizados por entidades estatales con la finalidad de: verificar el cumplimiento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Cuerpos de Agua Superficial

(ECA) en puntos cercanos a las Estaciones Hidrométricas de Chosica, Sheque, y Tamboraque; calcular las cargas máxicas de los contaminantes y proponer caudales mínimos circulantes de tal forma que las concentraciones de dichos contaminantes sean menores a los ECA, especialmente en los meses de temporada seca, donde se esperan altas concentraciones debido a bajos caudales de dilución.

Palabras clave: Gestión ambiental, método hidrológico, Régimen de Caudales Ecológicos, Caudal Básico de Mantenimiento, variabilidad temporal.

ABSTRACT

The Peruvian coast is characterized by its aridity and low rainfall, with a water deficit in most of year. In the Rimac river basin, water demand is higher for population use, followed by agricultural use, mining use and industrial activity; however, the use of this resource is not regulated and no studies have been conducted on ecological flows in the basin.

Nowadays, there is a need to opt for an environmental management solution for the basin that guarantees the sustainability of the fluvial ecosystem (Palau, 2004). This proposal must contemplate, according to the characteristics of each, at least two components: an Ecological Flow Regime, that is, a regime of minimum flows determined by a temporal variability factor according to its hydrological regime, the biological community present and its development, the uses of the resource by the communities, its cultural value, etc.; in addition, to control water quality through physical - chemical and biological parameters.

The Regime of Ecological Flows can be obtained following diverse methods, classified according to characteristics or particularities of the river, or according to the parameters to be used in the calculation process. These methods are classified into: hydrological methods, hydraulic methods, eco-hydraulic methods or simulation of habitat and holistic methods.

In the present investigation, the hydrological method of the Basic Flow of Maintenance is used to determine the Regime of Ecological Flows in the Rimac river basin based on flow records of the Chosica, Sheque and Tamboraque Hydrometric Stations. Likewise, the Reference Ecological Flows established by the National Water Authority were calculated by a statistical method, in order to compare both results

Furthermore, the results of surface water quality monitoring carried out by state entities were analyzed to verify compliance with the National Environmental Quality Standards for Surface Water Bodies (ECA) in points close to the Hydrometric Stations of Chosica, Sheque, and Tamboraque, calculate the mass loads of the pollutants and propose minimum circulating flows in such a way that the concentrations of said pollutants are lower than the

RCTs, especially in the dry season months, where high concentrations are expected due to low dilution flow rates.

Key Words: Environmental management, hydrological method, Ecological Flow Regime, Basic Flow of Maintenance, temporal variability.

I. INTRODUCCIÓN

Desde las épocas Prehispánicas, y aún más en el último siglo, el río Rímac ha constituido una fuente de vida para parte de la sierra central y la costa del Perú. Esto debido a que las poblaciones o comunidades asentadas en sus márgenes o cerca de ellas, utilizaron sus aguas para desarrollar distintas actividades como la minería, la agricultura y ganadería.

El aprovechamiento del recurso hídrico se intensificó al derivar o canalizar las aguas hacia zonas más lejanas hasta que, a mediados del siglo XX, se destinó su uso para generación de energía eléctrica al instalar centrales hidroeléctricas como Huinco, Barbablanca, Juan Carosio (también conocida como Moyopampa), Huampaní y Matucana (o Pablo Bonner), así como para desarrollar actividades industriales en la zona baja del valle.

El incremento demográfico visto en la parte baja de la cuenca, específicamente en la ciudad de Lima, trajo consigo la necesidad de derivar las aguas de la cuenca del río Mantaro hacia el Rímac para satisfacer la demanda poblacional. Además, la calidad del agua superficial se deteriora continuamente a medida que la ciudad concentra cada vez más habitantes y mayor actividad industrial.

La calidad del recurso hídrico en la cuenca media del río Rímac es alterada por la presencia de diversas industrias del rubro de producción de productos químicos, textiles, papeleras, alimentos, curtiembres, materiales de construcción, etc., por el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales sin tratamiento. En la cuenca baja, las principales causas de contaminación del río son: la indebida disposición de residuos sólidos en el cauce del río, el vertimiento directo de aguas residuales industriales y domésticas sin tratamiento, lavado de productos vegetales (incrementando la concentración de pesticidas en el cuerpo receptor), lavado de ropa (adición de detergentes), etc. (ANA, 2011).

En el año 2015, se publicó el Informe Final del “Plan Maestro del proyecto de Restauración del río Rímac”, documento donde se describen los planes para recuperar la funcionalidad, aumentar la disponibilidad hídrica y reducir la contaminación en la cuenca a partir de tres lineamientos básicos: 1. Mejorar la gestión integrada de los recursos hídricos; 2. Mejoramiento de la ribera del río, y finalmente 3. Mejoramiento de la calidad del agua.

Dichos planes proponen alternativas para distintos escenarios posibles, sin embargo, estos no consideran los caudales mínimos que deben fluir en el cauce del río, también conocidos como Caudales Ecológicos, parámetros fundamentales para entender el comportamiento del río en relación las distintas variables presentes en la cuenca: variables hidrológicas, hidráulicas, ecológicas, demográficas, etc.

El objetivo general de esta investigación es determinar el Régimen de Caudales Ecológicos en la cuenca del río Rímac mediante el método del Caudal de Básico de Mantenimiento, utilizando los registros de caudales medios diarios de las Estaciones Hidrométricas Chosica, Sheque y Tamboraque. Asimismo, los objetivos específicos comprenden: analizar y corregir los registros de caudales medios mensuales de las estaciones mencionadas; verificar el cumplimiento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para cuerpos de agua superficiales (ECA-Agua) en las Estaciones Hidrométricas Chosica, Sheque y Tamboraque; y por último, calcular los caudales que deben escurrir, como mínimo, en dichas Estaciones Hidrométricas para el cumplimiento de los ECA-Agua.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA CONSERVACIÓN ECOLÓGICA DE LOS RÍOS

Los ríos son elementos fundamentales en el desarrollo del ciclo hidrológico, responsable de la continua redistribución del agua terrestre a escala global (Franquet, 2009). La Figura 1 representa gráficamente los cambios físicos del agua en el ciclo hidrológico. Se observan los procesos de evaporación en la superficie oceánica y sobre la superficie terrestre en el fenómeno de la evapotranspiración; el agua en forma de vapor asciende y se condensa formando las nubes, constituidas por agua en pequeñas gotas, que luego se enfrían produciéndose la condensación y posteriormente la precipitación. Cuando el agua que alcanza el suelo, penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal.

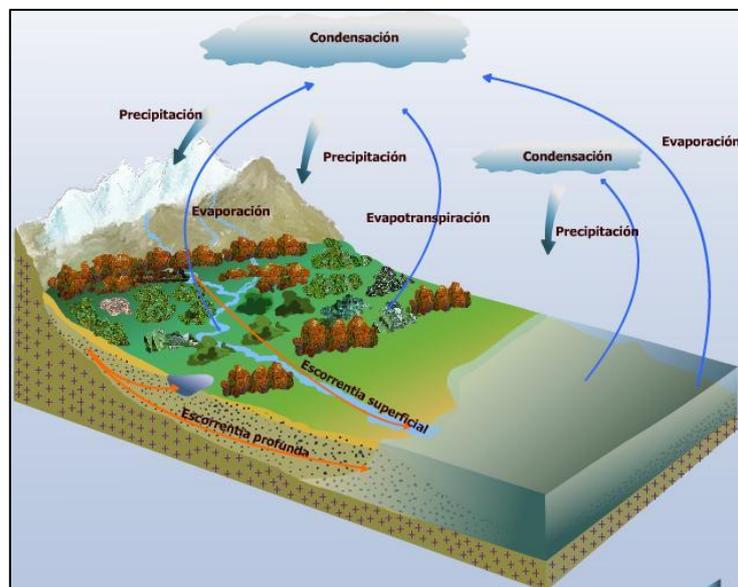


Figura 1: Ciclo Hidrológico.

FUENTE: Universidad Complutense de Madrid (s.f.).

El agua transportada por los ríos presenta una doble dimensión: como recurso dentro de la reserva hídrica del país y como componente fundamental del sistema fluvial. A través de los ríos, la naturaleza regula la salida de los excedentes de agua producidos en las laderas, transportando al mismo tiempo gran cantidad de sedimentos y compuestos químicos (González, 1994).

El valor de la conservación de los ecosistemas fluviales radica en la gran diversidad biológica que alberga y su intrínseca capacidad de conectarse con ecosistemas terrestres y favorecer la transferencia biológica y energética (Cachón, citado por Magdaleno 2004). Además, se debe considerar el valor social, económico y cultural que han adquirido estos sistemas para la sociedad. Por lo tanto, el principal objetivo de una correcta gestión de ríos será el mantenimiento de la funcionalidad del río bajo perspectivas ambientales, económicas y sociales (Magdaleno, 2004).

2.2. RELACIÓN ENTRE EL RÉGIMEN DE CAUDALES Y LOS ECOSISTEMAS FLUVIALES

Todo ecosistema es el resultado de la combinación de factores y condiciones que generan, destruyen o cambian la estructura biofísica de un ecosistema fluvial. Entre ellos, el régimen hidrológico es un factor de control clave, definido como las variaciones de caudal a lo largo del tiempo en un punto determinado de la red hidrográfica. Su representación gráfica (hidrograma) permite observar rasgos de identidad: valores máximos y mínimos de caudal, cambios temporales y su variabilidad, patrones estacionales, entre otros.

Bunn y Arthington (2002) establecieron cuatro principios acerca de la influencia del régimen de caudales sobre la biodiversidad acuática:

- Principio 1: El régimen de caudales es el mayor determinante del hábitat físico de los ecosistemas acuáticos, el cual a su vez, es determinante de la composición biológica.
- Principio 2: Las especies acuáticas evolucionan sus estrategias vitales en gran medida en respuesta a sus regímenes hidrológicos naturales.
- Principio 3: El mantenimiento de patrones naturales de conectividad lateral y longitudinal es esencial para la viabilidad de las poblaciones de numerosas especies.

- Principio 4: La invasión y éxito de las especies introducidas se ve favorecida por la alteración de los regímenes hidrológicos.

Estos principios destacan el papel del medio físico determinado por el régimen fluvial (velocidad, profundidad, sección mojada, etc.) y las variaciones de caudales (estiajes o crecidas) para conservar la biodiversidad, producción y sostenibilidad de los ecosistemas fluviales. Las características del régimen que poseen mayor significación ambiental se mencionan a continuación y son detallados en la Figura 2 (Poff, *et al.* 1997):

- Magnitud: determina la disponibilidad general de agua en el ecosistema.
- Frecuencia de un evento en un intervalo de tiempo: indica qué tan variable es el régimen de caudales; además, condiciona la dinámica geomorfológica y ecológica del río, y por lo tanto, su diversidad.
- Duración de condiciones de flujo específicas: desde un punto de vista biológico, en situaciones extremas como avenidas y sequías, la duración del flujo de agua está íntimamente relacionada a los umbrales de resiliencia de las diferentes especies.
- Estacionalidad o regularidad de ocurrencia de un evento en una determinada época del año. Presenta sincronía con los ciclos de vida de especies (fluviales, de estuarios y marinas).
- Tasas de cambio de la rapidez con la que acontecen cambios de unas magnitudes a otras, alterando la capacidad de respuesta de la biota.

2.3. IMPORTANCIA DE LOS CAUDALES MÍNIMOS Y LAS CRECIDAS EN LA DIMÁMICA DE ECOSISTEMAS

El caudal mínimo es aquel capaz de mantener las funciones básicas del ecosistema fluvial (Magdaleno, 2004). Los caudales mínimos marcan condiciones limitantes del hábitat para muchas especies a través de parámetros hidráulicos como la velocidad o la profundidad. Se trata de un mecanismo de control que, si mantiene su rango natural de ocurrencia, pone en práctica estrategias adaptativas desarrolladas por especies sometidas a condiciones de estrés (Sánchez e Ibáñez, 2007).

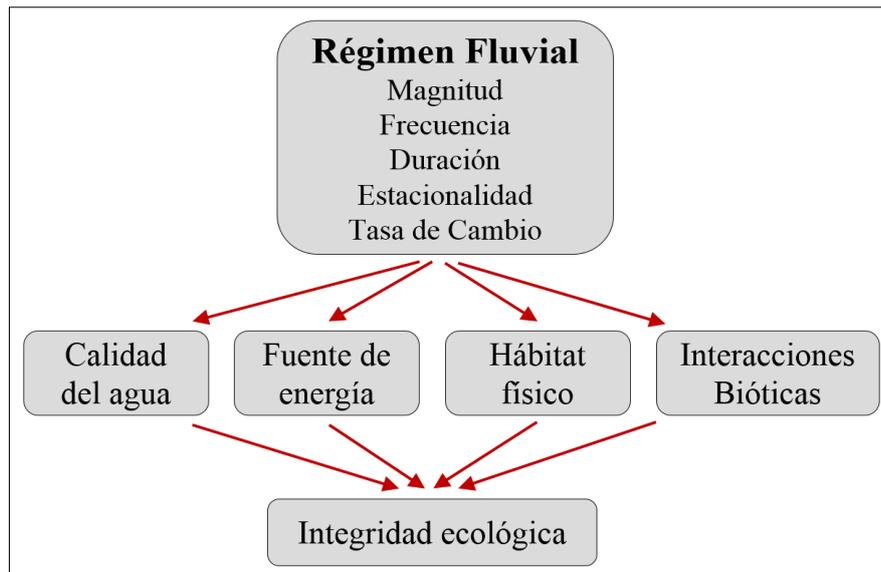


Figura 2: Componentes del régimen de caudales que determinan la integridad de los ecosistemas fluviales.

FUENTE: Poff, et al. 1997.

Los caudales mínimos combinados con problemas de contaminación son también decisivos en la funcionalidad del ecosistema fluvial. El exceso de nutrientes o contaminantes junto a la escasez de caudal agrava de forma sinérgica los casos de eutrofización, intoxicación y muertes de especies.

Por otro lado, las crecidas e inundaciones constituyen eventos naturales de gran importancia que incluyen la transferencia de materiales y energía entre el río y su ribera, ya que se produce un movimiento transversal de agua, sedimentos y nutrientes que conecta los diferentes ambientes de los sistemas fluviales (lecho y llanura de inundación). Estas crecidas incrementan la heterogeneidad y complejidad del ambiente fluvial y controlan así la presencia y abundancia de diferentes especies (Sánchez e Ibáñez, 2007).

2.4. ALTERACIÓN DE LOS REGÍMENES DE CAUDALES NATURALES

El régimen de caudales es una característica intrínseca y propia de cada tramo de río y del sistema fluvial que existe en él, siendo responsable de los rasgos de su hábitat físico, sus procesos ecológicos y su diversidad biológica (Martínez y Fernández, 2008). El río Rímac ha sufrido intervenciones que afectan las corrientes naturales mediante los siguientes procesos (Vélez y Ríos, 2004):

- Modificaciones del régimen de caudales. Reducción de la variabilidad natural en embalses, extracción de algún caudal constante o hasta cierto límite dado por la capacidad de la captación, e incremento de los caudales por trasvases.
- Modificaciones en el cauce. Modificación del alineamiento horizontal o vertical para captación o aprovechamiento para riego de cultivos.
- Modificaciones en los usos del suelo: deforestación, laboreo agrícola, fumigación de cultivos cercanos al río, riego y drenaje de cultivos, adecuación de tierras, urbanización, pavimentación, disposición de residuos sólidos con lixiviados hacia corrientes y acuíferos, entre otros.
- Otras intervenciones como: vertimientos directos de residuos, aguas servidas o contaminantes, sobrepesca, incrementos de gases de efecto invernadero y cambio climático.

Estas modificaciones producen cambios sustanciales en la vida acuática, en la flora y fauna de las riberas. Así, se plantea un conflicto entre la explotación del recurso agua para diferentes usos y la conservación del medio natural.

2.5. LOS RÍOS COMO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA

La regulación de caudales permite almacenar el recurso durante meses del año hidrológico donde la precipitación supera las demandas, y utilizar dicha reserva durante el periodo estival, cuando las demandas superan al volumen de agua disponible (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, s.f.).

La construcción de embalses en los ríos, tal como sucede en el Rímac, permite también la generación de energía hidroeléctrica, donde solamente se utiliza la energía potencial y cinética del agua para que las turbinas accionen rotores dentro del campo de un estator para inducir la generación eléctrica en los conductores y líneas de transmisión (Bernal, 2012). El caudal utilizado es retornado sin alteración al río. La Figura 3 muestra una vista aérea de la central hidroeléctrica Huinco, administrada por Enel Generación Perú. S.A.A.



Figura 3: Central Hidroeléctrica Huinco.

FUENTE: EDEGEL S.A.A. (Ahora Enel Generación Perú S.A.A.)

2.6. CALIDAD DEL AGUA EN ECOSISTEMAS FLUVIALES

La calidad del agua en sistemas fluviales es una función de su historia, es decir, está determinada por múltiples procesos químicos y biológicos que se han dado lugar dentro o fuera de ellos a lo largo del tiempo (Hendrics, s.f.).

Las actividades antrópicas pueden tener impactos en los ecosistemas fluviales, especialmente en las comunidades abióticas que los habitan (Ministerio de Obras Públicas, CL, 2008). La degradación de los recursos acuáticos en el mundo se ha incrementado y está relacionada con las regiones densamente pobladas (Saldaña – Fabela *et al*, 2011). Aquellas actividades desarrolladas en las proximidades de los cauces, o en su interior, son las que tienen un impacto mayor y más visible en los ecosistemas fluviales, alterando profundamente la vida acuática que albergan (González, 1994).

El crecimiento continuo de núcleos urbanos y la urgencia por satisfacer sus necesidades básicas (alimentos, vivienda y vestimenta) conduce al establecimiento de fábricas que vierten sus aguas residuales en los ríos, así como las procedentes de la filtración y lixiviación de los terrenos agrícolas que arrastran sustancias químicas diversas (inorgánicas y orgánicas), como los restos de fertilizantes y pesticidas (Franquet, 2009). La capacidad

de asimilación natural, o resiliencia, de ecosistema se ve excedida debido a la variedad y concentración de los agentes contaminantes que deterioran la calidad del agua.

2.7. LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC

El río Rímac nace en el paso montañoso conocido como Ticlio, a partir de los deshielos del nevado Uco, ubicado en el distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli, departamento de Júpín, a 5100 msnm, discurriendo con dirección noreste – suroeste a través de las provincias de Huarochirí y Lima con una longitud de cauce de 127,02 kilómetros (ANA, 2009).

La cuenca del río Rímac se ubica entre las coordenadas (UTM WGS84 - Zona 18): 273959 E, 8661928 N, y 370853 E, 8715806 N, y posee una extensión de 3 503,95 kilómetros cuadrados y una longitud de 127,02 kilómetros.

Políticamente, la cuenca se localiza en los departamentos de Lima (abarcando las provincias Callao, Lima, Huarochirí) y Júpín (provincia de Yauli). Hidrográficamente, pertenece a la vertiente del Pacífico, limitando hacia el Norte con la cuenca del río Chillón, por el Sur colinda con las cuencas de los ríos Lurín y Mala, hacia el este se encuentra a cuenca del río Mantaro y por el Oeste limita con el Océano Pacífico (INRENA, 1983).

Según la demarcación administrativa, la cuenca o unidad hidrográfica Rímac (código Pfafstetter 137554) pertenece a la Autoridad Local del Agua (ALA) Chillón – Rímac – Lurín, que a su vez forma parte de la jurisdicción de la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) Cañete – Fortaleza. La cuenca se divide en 9 subcuencas, las cuales se muestran en la Figura 8 y son descritas en la Tabla 1.

Tabla 1: División hidrográfica de la cuenca del río Rímac.

Código	Subcuenca	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Long. de Cauce (km)	Número de ríos o quebradas
1375541	Baja Río Rímac	441,03	12,59	22,92	49
1375542	Quebrada Jicamarca	492,31	14,05	44,15	272
1375543	Jicamarca – Santa Eulalia	267,6	7,64	34,81	83
1375544	Río Santa Eulalia	1077,38	30,74	62,36	348
1375545	Santa Eulalia - Parac	633,71	18,08	48,39	187
1375546	Quebrada Parac	130,43	3,72	20,55	36
1375547	Parac – Alta Río Rímac	55,93	1,60	7,89	11
1375548	Alta Río Rímac	169,81	4,85	18,18	42
1375549	Río Blanco	235,75	6,73	32,00	63
Total		3503,95	100,00	291,25	1090

FUENTE: ANA, 2010.

2.7.1. Caracterización ambiental de la cuenca

a. Clasificación climatológica

Según la metodología de Thornthwaite, la clasificación climatológica de la cuenca del río Rímac se obtiene a partir de índices como la precipitación efectiva (PE) y temperatura efectiva (TE). Estos índices son calculados a partir de una relación entre la precipitación total anual y la temperatura media anual, tal como se muestra en la Tabla 2 (ANA, 2010).

- Índice de precipitación efectiva:

$$PE = \sum_1^{12} \left(\frac{2.82P_i}{1.8T_i + 22} \right)^{10/9}$$

- Índice de temperatura efectiva:

$$TE = 5,4 * T$$

Donde:

- PE = Índice de precipitación efectiva.
- Pi = Precipitación total anual (mm).
- Ti = Temperatura media anual (°C).

– TE = Índice de temperatura efectiva.

Tabla 2: Clasificación climática según Thornthwaite.

Precipitación Efectiva (PE)		Temperatura Efectiva (TE)	
Provincia de Humedad	Índice PE	Provincia de Temperatura	Índice TE
A: Muy húmedo	Mayor de 128	A': Tropical	Mayor de 128
B: Húmedo	64 a 127	B': Mesotérmico	64 a 127
C: Sub Húmedo	32 a 63	C': Microtérmico	32 a 63
D: Semiárido	16 a 31	D': Taiga	16 a 31
E: Árido	Menor de 16	E': Tundra	1 a 15
		F': Glacial	0

FUENTE: ANA, 2010.

La Tabla 3, se presentan los resultados obtenidos según la metodología de Thornthwaite, y la clasificación climática en las estaciones meteorológicas consideradas.

Tabla 3: Clasificación climática basada en el sistema Thornthwaite.

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Datos Anuales		Índices de clasificación		Característica Climática	
		P (mm)	T (°C)	PE	TE	Humedad	T°
Aeropuerto Internacional	13	10,3	19,2	0,48	103,68	Árido	Mesotérmico
Campo de Marte	159	7,8	19,3	0,35	104,22	Árido	Mesotérmico
Chosica	850	23,3	19,9	1,15	107,46	Árido	Mesotérmico
Autisha	2 171	200,2	17,1	13,92	92,34	Árido	Mesotérmico
Carampoma	3 489	410,4	15,3	33,16	82,62	Sub Húmedo	Mesotérmico
Casapalca	4 214	647,6	14,4	57,11	77,76	Sub Húmedo	Mesotérmico
Laguna Pirhua	4 750	702,7	13,7	64,41	73,98	Húmedo	Mesotérmico

FUENTE: ANA, 2010.

b. Recursos Hídricos Superficiales

En la cuenca existen 630 fuentes de agua superficial distribuidos en seis tipos: quebradas, manantiales, lagunas represadas, lagunas naturales, ríos y presas tal como se muestra en la Figura 4.

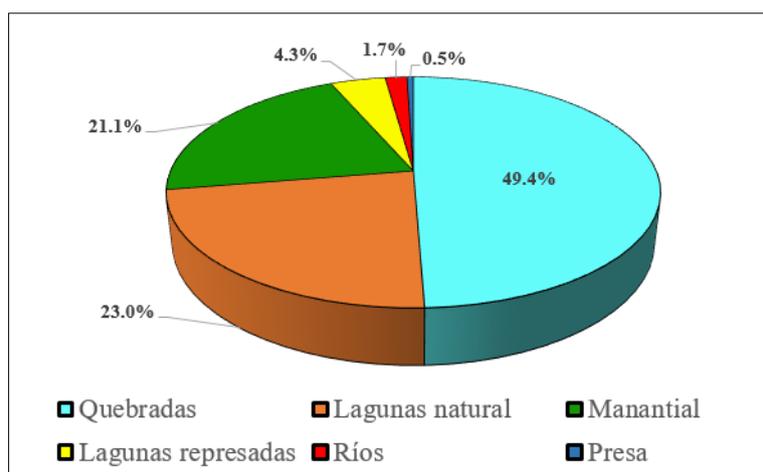


Figura 4: Fuentes de agua superficial en la Cuenca del río Rímac.

FUENTE: ANA, 2010.

Asimismo, en la Tabla 4 se resume el número de fuentes de agua superficial ubicadas en las unidades hidrográficas de la cuenca.

Tabla 4: Inventario de fuentes de agua superficial en la cuenca del río Rímac.

Unidades hidrográficas	Numero de fuentes de agua superficial						Total
	Queb.	Ríos	Lag. Nat.	Lag. Rep.	Presa	Manantial	
Río Santa Eulalia	141	7	77	26	2	83	336
Santa Eulalia-Parac	74	2	11	1	0	30	118
Qda. Parac	26	0	12	0	0	2	40
Parac-Blanco	6	0	6	0	0	3	15
Alto Río Rímac	26	1	24	0	0	3	54
Río Blanco	38	1	15	0	1	12	67
Total	311	11	145	27	3	133	630
Porcentaje total	49,4	1,7	23,0	4,3	0,5	21,1	100,0

FUENTE: ANA, 2010.

c. Uso y demanda de agua en la cuenca del río Rímac

El agua en la cuenca del Rímac es aprovechada principalmente con fines generación de energía (uso no consuntivo), y otros como uso agrícola, minero y poblacional.

La mayor cantidad de fuentes de agua con fines de generación de energía y uso agrícola se ubican en la subcuenca del río Santa Eulalia. También se desarrolla actividad agrícola en las subcuencas Santa Eulalia-Parac, Río Blanco, y Quebrada Parac. Asimismo, el uso de agua con fines mineros se localiza en la subcuenca Alto Río Rímac.

En la Subcuenca Bajo Río Rímac, existe una gran demanda de agua para uso doméstico o poblacional. Para Lima y Callao, el agua es provista principalmente por el río Rímac y en menor medida se hace uso de las aguas subterráneas obtenidas por medio de pozos.

Estas fuentes son administradas por el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL), empresa cuyo mayor reto es hacer frente a la creciente demanda para satisfacer la necesidad hídrica de la población.

Una proyección demográfica para Lima y Callao realizada por SEDAPAL en el año 2009, muestran un incremento de la población que trae consigo una mayor presión sobre la disponibilidad del recurso hídrico desde el año 2020 hasta el 2040, según se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Población proyectada en la ciudad de Lima.

Años	Población Proyectada
2020	10 130 585
2025	10 764 418
2030	11 398 251
2035	11 936 924
2040	12 485 366

FUENTE: SEDAPAL, 2009.

d. Evaluación de la Calidad de Agua en la cuenca del río Rímac

La primera evaluación de la calidad del agua en la cuenca del Rímac fue realizada en el año 1981 por el Ministerio de Salud del Perú a través de la División de Preservación del Medio Ambiente (Tiznado y Olivera 1999).

En 1986, se presentó el estudio «Contaminación del río Rímac por Metales Pesados provenientes de la Industria Minera», en el cual se analizó la calidad del agua del río Rímac en dos tramos correspondientes al área de estudio: Tramo I: Naciente del río San Mateo y Tramo II: Quebrada Parac. De la evaluación de este estudio, se concluyó que ambos tramos hídricos presentaban cantidades significativas de plomo y zinc y que estos metales presentaban un incremento al pasar por lugares en donde no existía ningún tipo de aporte visual minero, por lo que se indicó la posible existencia de aportes de otra naturaleza a la minera.

Además, menciona a las compañías mineras que tenían como cuerpo receptor al río San Mateo, la quebrada Parac y la quebrada Viso, estando algunas de ellas actualmente en estado de pasivos ambientales.

En los años 1992 y 1993, Guillen *et al.*, ejecutaron monitoreos mensuales en el área comprendida desde el puente Ricardo Palma y la desembocadura al océano Pacífico. Se demostró la variación estacional de metales pesados como plomo, cadmio, zinc y cobre, presentando mayores concentraciones en verano.

d.1. Vigilancia y Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos

Desde el año 2000 hasta el 2011, la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria – DIGESA, monitoreó la calidad del agua superficial en cuenca del río Rímac en 24 estaciones como parte de su programa de control y vigilancia de los recursos hídricos.

Se ejecutaron muestreos mensuales para identificar a los elementos, sustancias o parámetros que presentan niveles que sobrepasaron los valores límites establecidos, en su momento, por la Ley General de Aguas y actualmente por los Límites Máximos Permisibles para los vertimientos de aguas residuales provenientes de distintas actividades así como por los Estándares de Calidad Ambiental para Cuerpos de Agua y sus modificatorias (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM y Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

Las estaciones de monitoreo consideradas en el mencionado programa de control y vigilancia se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Estaciones de monitoreo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Rímac.

N°	Código	Estación	Coordenadas UTM	
			Este	Norte
1	E-01	Río Rímac, Bocatoma Laguna Ticticocha - C.C. Km. 127	368 957	8 716 576
2	E-1A	Quebrada Antaranra, 100 m aguas abajo de vertimiento de aguas residuales de Volcan Compañía Minera S.A.A. - Unidad Ticlio.	368 370	8 716 266
3	E-02	Río. Chinchán, puente Ferrocarril - C.C. Km 119,5	365 396	8 714 795
4	E-2A	Río Rímac, 150 m aguas abajo de vertimiento de aguas residuales de Empresa Minera Los Quenuales S.A.	365 223	8 711 769
5	E-2B	Río Rímac, 200 m aguas abajo de vertimiento de aguas residuales de Compañía Minera Casapalca S.A.	364 708	8 711 007
6	E-2C	Río Rímac, 150 m aguas abajo de vertimiento de aguas residuales de PERUBAR S. A. - Unidad Rosaura.	362 667	8 707 989
7	E-03	Río. Blanco, Estación Meteorológica SENAMHI – Carretera Central Km 101	362 762	8 702 490
8	E-04	Río Rímac, puente Anchi II, C.C. Km 100, antes de unión con el Blanco.	361 812	8 703 036
9	E-05	Río Rímac, puente Pite, Carretera Central Km 95.	359 487	8 701 261
10	E-06	Río Rímac, puente Tamboraque III, Carretera Central Km 90,6.	357 850	8 698 183
11	E-07	Río Aruri, 50 m antes unión con río Rímac, Carretera Central Km. 89	357 435	8 696 968
12	E-08	Río Rímac, bocatoma Edegel (ex Pablo Bonner), C. Central Km 89.	357 278	8 696 892
13	E-09	Río Rímac, puente Tambo de Viso, Carretera Central Km 83,5.	353 859	8 694 631
14	E-10	Río Rímac, puente Surco, Carretera Central Km 66.	342 372	8 685 678
15	E-11	Río Rímac, puente Ricardo Palma, Carretera Central Km 38.	318 925	8 691 434
16	E-12	Río Santa Eulalia, Estación Hidrológica Autisha - C.C. Km 31	324 930	8 702 232
17	E-13	Río Santa Eulalia, puente antes de la confluencia con el río Rímac. Altura Carretera Central Km 37,5	318 480	8 681 801

Continuación.

18	E-14	Río Rímac, puente La Trinchera, Centro de Salud Moyopampa, Carretera Central Km 35.	316 709	8 681 120
19	E-15	Río Rímac, Puente Morón - Carretera Central Km. 23	305 655	8 675 330
20	E-16	Río Rímac, Puente Huachipa - Carretera Central Km. 9,5	293 044	8 671 084
21	E-17	Río Huaycoloro, puente Autopista Ramiro Prialé	287 455	8 670 452
22	E-18	Mirador N° 1 - Las Palmeras Autopista Ramiro Prialé	286 549	8 670 062
23	E-24	Bocatoma 1 – La Atarjea	286 002	8 669 762
24	E-25	Bocatoma 2 – La Atarjea	285 975	8 669 824

FUENTE: DIGESA, 2004.

El nivel de riesgo de contaminación se determinó aplicando el método el percentil, tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Criterios de evaluación de riesgos (método del percentil).

Nivel de riesgo	Criterio de Evaluación de Riesgos (método del percentil)
Ninguno	El percentil 90 es menor o igual a los ECA para Agua vigente en ese momento (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM).
Moderado	El percentil 90 es mayor que los ECA y la mediana es menor que estos.
Alto	La mediana es igual o mayor a los ECA o un resultado puntual supera más de 10 veces a dichos valores ECA.

FUENTE: DIGESA, 2011.

Donde:

- Percentil 90: Es el valor que se encuentra en el lugar nonagésimo de un conjunto de números ordenados ascendentemente.
- Mediana: Es el valor que se ubica en medio de un conjunto de números ordenados ascendentemente.

El año 2012 se realizó el último el monitoreo del agua superficial de forma integral en toda la extensión de la cuenca del río Rímac, considerando las estaciones mostradas en la Tabla 8.

Tabla 8: Puntos de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Rímac – Abril 2012.

N°	Código	Estación	Coordenadas UTM	
			Este	Norte
1	RChin-1	Río Chinchán, 100 m aguas abajo puente Ferrocarril, C. Central, altura del km. 119,5.	365 364	8 714 912
2	QAnta-1	Quebrada Antaranra, 100m aguas debajo de vertimiento de aguas residuales de Volcan Compañía Minera – UM Ticlio	361 246	8 716 228
3	LTict-1	Río Rímac, salida de laguna Ticticocha, Carretera Central Km 127.	368 951	8 716 570
4	RRima-1	Río Rímac, 150 m aguas abajo de vertimiento de aguas residuales de Empresa Minera Los Quenuales S.A.	365 225	8 711 767
5	RRima-3	Río Rímac, puente Anchi II, C.C. Km 100, antes de unión con el río Blanco.	361 821	8 703 030
6	RRima-4	Río Rímac, 100 m aguas abajo de vertimiento Minera NYRSTAR CORICANCHA (Ex San Juan) antes de confluencia con el río Aruri.	357 487	8 697 093
7	RRima-5	Río Rímac, aguas arriba de la confluencia con el río Mayo (Puente Tambo de Viso), Carretera Central Km 83,5.	354 070	8 694 843
8	RRima-6	Río Rímac, 100 m aguas abajo del puente Surco, Carretera Central Km 66.	342 234	8 685 592
9	RRima-7	Río Rímac, 100 m aguas arriba del puente Ricardo Palma, Carretera Central Km 38	319 063	8 681 449
10	RRima-8	Río Rímac, 80 m aguas abajo del puente Morón, Carretera Central Km 23.	305 572	8 675 338
11	RRima-9	Río Rímac, Bocatoma de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Huachipa	295 243	8 671 750
12	RRima-10	Río Rímac, Bocatoma -1, Planta de Tratamiento de Agua Potable La Atarjea	286 001	8 669 758
13	RRima-10A	Río Rímac, Bocatoma -2, Planta de Tratamiento de Agua Potable La Atarjea	285 974	8 669 821
14	RRima-11	Río Rímac, 200 m aguas abajo del puente Universitaria, Av. Morales Duárez (parque Chumpitaz)	273 430	8 668 596
15	RRima-12	Río Rímac, 20 m aguas arriba del puente Néstor Gambeta	268 443	8 668 505

Continuación.

16	RBlan-1	Río Blanco, 20 m aguas abajo de Estación Meteorológica SENAMHI.	362 767	8 702 505
17	RArur-1	Río Aruri, 25 m agua abajo de puente de madera artesanal y 20m de la descarga de la bocamina s/n (Millotingo).	364 107	8 694 513
18	RArur-2	Río Aruri, 50 m antes de la confluencia con el río Rímac (ingreso por Edegel).	357 445	8 696 957
19	RMayo-1	Río Mayo, 50 m antes de la confluencia con el río Rímac.	354 044	8 694 763
20	QHuay-1	Quebrada Huaycoloro. 40 m antes de la confluencia con el río Rímac	287 433	8 670 443
21	LLeon-1	Laguna Leoncocha N° 03, salida de la laguna a 250 m antes de la confluencia a la laguna Millo	352 767	8 720 894
22	LCanc-1	En el río Pallca, a 1 km de la salida de laguna Canchis	352 777	8 720 276
23	RSant-1	Río Santa Eulalia, 30 m aguas arriba del puente antes de confluencia con el río Rímac.	318 477	8 681 816

FUENTE: ANA, 2012.

De manera paralela al monitoreo de calidad del agua, entre noviembre del 2010 y agosto del 2011, se identificaron un total de 661 fuentes de contaminantes (ANA, 2011), entre los cuales se encuentran vertimientos de aguas residuales (industriales, domésticas, provenientes de pasivos ambientales mineros), botaderos de residuos sólidos, conexiones de vertimiento directo de desagüe, etc.

Los vertimientos de aguas residuales provenientes de pasivos ambientales tienen lugar en la parte alta de la cuenca, donde la actividad minera se desarrolla desde siglos atrás.

En la cuenca media, se presentan vertimientos de aguas residuales de riego, debido a que en esta zona se desarrolla el cultivo de distintas especies vegetales.

Los vertimientos de aguas residuales domésticas, los botaderos de residuos sólidos y las conexiones de tuberías para vertimiento directo de aguas residuales domésticas son

característicos de la cuenca media y baja. Estas fuentes contaminantes del río se resumen en la Tabla 9.

Tabla 9: Vertimientos en la cuenca del río Rímac.

Tipo de fuentes contaminantes	Total identificado
Vertimientos de aguas residuales industriales	28
Vertimientos de aguas residuales de pasivos ambientales	10
Reuso de aguas residuales domésticas	1
Vertimientos de aguas residuales domésticas	39
Vertimientos de aguas residuales de riego	4
Botaderos de residuos sólidos	91
Tuberías conectadas al río para vertimiento de aguas residuales domésticas.	488
Total	661

FUENTE: ANA, 2011.

Asimismo, la Tabla 10, Tabla 11, y Tabla 12, resumen los resultados de la evaluación de la calidad del agua en la cuenca desde el año 2000 hasta el 2012.

Tabla 10: Evaluación de Calidad del Agua (2000 – 2004) – DIGESA.

Parámetros	2000	2001	2002	2003	2004
Plomo	Ningún riesgo en E-01: alto riesgo en todas las demás estaciones.	Ningún riesgo en E-01: alto riesgo en todas las demás estaciones.	Ningún riesgo en E-01; alto riesgo en todas las demás estaciones.	Alto riesgo: E-04; riesgo moderado: E-05 y del E-09 al E-23; bajo riesgo en las estaciones.	Alto riesgo: E-14; riesgo moderado: E-04, E-05, E-08, E-09, E-18, E-21 y E-22A; ningún riesgo en las demás estaciones.
Coliformes termotolerantes	Ningún riesgo en E-01; alto riesgo en todas las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-02, E-03, E-04, E-06; bajo riesgo: E-01; alto riesgo en las demás estaciones	Ningún riesgo: E-01, E-05; riesgo moderado: E-06; alto riesgo en las demás estaciones	Alto riesgo: E-18, E-19, E-20, E-21, E-22, E-23.	Alto riesgo de contaminación en todas las estaciones, excepto en E-01 (riesgo bajo).
Arsénico	Bajo riesgo: E-01, E-03 y E-04; riesgo moderado: E-02, E-05, E-06, E-07; alto riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-12 y E-13; riesgo moderado: E-02 y E-06; ningún riesgo en las demás estaciones.	No evaluado	No evaluado	No evaluado
Cadmio	Alto riesgo: E-05, E-09, E-10 y E-11; riesgo moderado: E-12; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-09, E-10, E-11, E-12; ningún riesgo en las demás estaciones.	No evaluado	No evaluado	Riesgo moderado: E-14; ningún riesgo en las demás estaciones.
Cobre	Riesgo moderado: E-13, E-14, E-15, y E-16; ningún riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-12, E-13 y E-14; ningún riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-15, E-16; E-17; ningún riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-19, E-21, E-22, E-23; bajo riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-19; ningún riesgo en las demás estaciones.
DBO	Alto riesgo: E-14, E-15, E-16, E-17 y E-18; riesgo moderado: E-11, E-12 y E-13; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-12, E-15, E-16, E-17, E-18; riesgo moderado: E-11, E-13, E-14; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-12, E-13, E-14, E-15, E-16, E-17 y E-18; Ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-18, E-19, E-20, E-21, E-22, E-23; riesgo moderado: E-16; bajo riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-18, E-21 y E-23; riesgo moderado: E-19, E-20; bajo riesgo en las demás estaciones.
Coliformes totales	No evaluado	No evaluado	No evaluado	Alto riesgo: E-18, E-19, E-20, E-21, E-22, E-23.	Alto riesgo de contaminación en todas las estaciones, excepto en E-01 (riesgo bajo).
Cromo	No evaluado	No evaluado	No evaluado	Alto riesgo: E-18; bajo riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-18; ningún riesgo en las demás estaciones.
Oxígeno Disuelto	No evaluado	No evaluado	No evaluado	Alto riesgo: E-21, E-22 y E-23; bajo riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-21, E-22 y E-23; bajo riesgo en las demás estaciones.

FUENTE: DIGESA, 2011.

Tabla 11: Evaluación de Calidad del Agua (2005 – 2009) – DIGESA.

Parámetros	2005	2006	2007 (no se muestreó E-12)	2008 (no se muestreó E-12)	2009 (no se muestreó E-12)
Plomo	Riesgo moderado: E-03, E-06 al E-13, E-15 al E-17; bajo riesgo: 01 y E-02; Alto riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-2A, E-2B, E-2C, E-04, E-05, E-09 y E-15; ningún riesgo en E-01, E-02, E-03, E-07, E-10 y E-13; riesgo moderado en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-02B y E-16; riesgo moderado: E-2A, E-2C, E-04, E-05, E-07, E-08, E-09, E-11, E-17, E-19 y E-22; bajo riesgo en las demás estaciones.	No evaluado	Ningún riesgo: E-01, E-02, E-03, E-06, E-6A, E-07, E-10 E-13, E-18, E-22 y E-22A; riesgo moderado en las demás estaciones.
Coliformes termotolerantes	Riesgo moderado: E-03 y E-04; ningún riesgo: E-01, E-02 y E-02A; alto riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-11 y en E-13 al E-23; riesgo moderado: E-02B, E-03 y E-04; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-2A, E-2B, E-04, E-08 y desde la E-10 hasta la E-23; riesgo moderado: E-2C y E-05 y ningún riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-02, E-07, E-09; ningún riesgo E-01 y E-1A; alto riesgo en las demás estaciones.	Ningún riesgo: E-01, E-1A, E-02, E-3B, E-07 y E-09; riesgo moderado: E-10; alto riesgo en las demás estaciones.
Arsénico	No evaluado	No evaluado	No se muestrearon E-21, E-22, E-23. Alto riesgo: E-09; riesgo moderado: E-07, E-15, E-16, E-17 y E-19; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: en E-19; riesgo moderado en E-11, E-12, E-13, E-14, E-15, E-16, E-17, E-18 y E-20; ningún riesgo en las demás estaciones. No se tomaron muestras para este parámetro en las estaciones E-21, E-22 y E-23.	Ningún riesgo en las estaciones monitoreadas. No se tomaron muestras para análisis de este parámetro en las estaciones E-14, E-15, E-16, E-17, E-18, E-21, E-22 y E-23.
Cadmio	No evaluado	Riesgo moderado: E-06 y E-07; alto riesgo: E-09; ningún riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-2A, E-2B, E-2C, E-04 y E-09; bajo riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: en E-01A, E-2A, E-2B, E-2C, E-05, E-06, E-07, E-08, E-09 y E-11; bajo riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-1A, E-2A, E-2B, E-3B, E-08 y E-09; riesgo moderado en E-2C, E-3A, E-04, E-05, E-06, E-07, E-11 y E-13; bajo riesgo en las demás estaciones.
Cobre	Riesgo: E-19; bajo riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-22A; bajo riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-19 y E-20; bajo riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-19; bajo riesgo en las demás estaciones.	Bajo riesgo en todas las estaciones.

FUENTE: DIGESA, 2011.

Continuación.

Parámetros	2005	2006	2007 (no se muestreó E-12)	2008 (no se muestreó E-12)	2009 (no se muestreó E-12)
DBO	Alto riesgo: E-17, E-18, E-21, E-22 y E-23; riesgo moderado: E-2A, E-2B, E-2C, E-15 y E-20; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-17, E-21 y E-23; riesgo moderado: E-18 y E-20; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-17, E-21, E-22, E-22A y E-23; riesgo moderado en E-18 y E-20; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-17, E-18, E-19, E-20, E-21, E-22, E-22A y E-23; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-17; riesgo moderado en E-15, E-16, E-21, E-22, E-22A y E-23; ningún riesgo en las demás estaciones.
Coliformes totales	Riesgo moderado: E-08; ningún riesgo: E-01 y E-02; alto riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-11 y E-13 al E-23; riesgo moderado: E-07 y ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: en E-2B, E-04, E-08, E-10, E-11 y en las estaciones comprendidas desde la E-13 hasta la E-23; riesgo moderado: E-07; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-2B, E-04 y entre E-13 hasta E-23; riesgo moderado: E-02, E-02A, E-2C, E-03, E-05, E-07, E-08, E-10 y E-11; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-2B, E-2C, E-06, y entre E-14 hasta E-23; riesgo moderado: E-02A, E-3A, E-04, E-05, E-08, E-11, E-13; ningún riesgo en las demás estaciones.
Cromo	No evaluado	Riesgo moderado: E-17; bajo riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-17; bajo riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-17; riesgo moderado: E-21; bajo riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-17; bajo riesgo en las demás estaciones.
Oxígeno Disuelto	Alto riesgo: E-17, E-21, E-22 y E-22A; riesgo moderado: E-23; ningún riesgo en las demás estaciones.	No evaluado	No evaluado	No evaluado	No evaluado
Mercurio	No evaluado	No evaluado	No evaluado	Bajo riesgo: E-05, E-06, E-07 y E-08; ningún riesgo en las demás estaciones.	No evaluado
Aceites y grasas	No evaluado	No evaluado	Alto riesgo: en E-17, E-18, E-19, E-20, E-21, E-22, E-22A y E-23 y ningún riesgo en E-16.	Alto riesgo: E-17, E-19, E-20, E-21, E-22, E-22A y E-23.	Alto riesgo: E-14, E-15, E-16, E-17, E-19, E-20, E-21, E-22, E-22A y E-23.

Tabla 12: Evaluación de Calidad del Agua (2010 – 2012) – DIGESA y ANA.

Parámetros	2010	2011	2012 (monitoreo realizado por ANA)
Plomo	Alto riesgo: E-04, E-05, E6B y E-17; ningún riesgo: E-01, E-02, E-2A, E-2B, E-03, E-10, E-13, E-14, E-15, E-24 y E-25; riesgo moderado en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-1A, E-05, E-6A, E-14, E-15, E-16, E-17, E-19 y E-20; ningún riesgo: E-01, E-02, E-03, E-08 y E-13; riesgo moderado en las demás estaciones.	Superan el ECA (Cat. 1, subcategoría 2): RRima-7 (E-11), RRima-8, RRima-9, RRima-10, RRima-10A, RRima-11 y RRima-12; en las demás estaciones no se supera ECA.
Coliformes termotolerantes	Alto riesgo: desde E-11 hasta E-25; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: desde E-14 hasta E-23.	No evaluado
Aluminio	No evaluado	No evaluado	Superan el ECA (Cat. 1, subcategoría 2): RChin-1 (E-02), RRima-1 (E-2A), RRima-3 (E-04), RRima-4 (E-07), RRima-5, RRima-6 (E-10), RRima-7 (E-11), RRima-8, RRima-9, RRima-10, RRima-10A, RRima-11 y RRima-12; en las demás estaciones no se supera ECA.
Arsénico	Riesgo moderado: E-03; ningún riesgo: E-01 y E-02; alto riesgo en las demás estaciones.	No evaluado	Superan el ECA (Cat. 1, subcategoría 2): LTict-1 (E-01), RRima-1 (E-2A), RRima-4 (E-07), RRima-5, RRima-6 (E-10), RRima-7 (E-11), RRima-8, RRima-9, RRima-10, RRima-10A, RRima-11 y RRima-12; en las demás estaciones no se supera ECA.
Cadmio	Alto riesgo: E-1A, E-05, E-06, E-6A, E-6B, E-08 y E-09; bajo riesgo en las demás estaciones.	No evaluado	Superan el ECA (Cat. 1, subcategoría 2): LTict-1 (E-01), RRima-1 (E-2A), RRima-4 (E-07), RRima-5, RRima-6 (E-10), RRima-7 (E-11), RRima-8, RRima-9; en las demás estaciones no se supera ECA.
Cobre	No evaluado	Riesgo moderado: E-19, E-20 y E-21; bajo riesgo en las demás estaciones.	No evaluado
DBO	Alto riesgo: E-17 y E-18; riesgo moderado: E-06, E-14, E-16, E-24, E-25; ningún riesgo en las demás estaciones.	No evaluado	No evaluado

FUENTE: DIGESA, 2011; ANA, 2012.

Continuación.

Coliformes totales	Alto riesgo: E-2B y desde E-11 hasta E-25; riesgo moderado: E-04A, E-06, E-6A, E-6B, E-10; ningún riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: desde E-14 hasta E-23.	Superan el ECA (Cat. 1, subcategoría 2): RRima-7 (E-11), RRima-8, RRima-9, RRima-10, RRima-10A, RRima-11 y RRima-12; en las demás estaciones no se supera ECA.
Cromo	Alto riesgo: E-17; bajo riesgo en las demás estaciones.	Alto riesgo: E-17; ningún riesgo en las demás estaciones.	No evaluado
Oxígeno Disuelto	Alto riesgo: E-17; ningún riesgo en las demás estaciones.	No evaluado	No evaluado
Mercurio	No evaluado	Ningún riesgo: E-05, E-06, E-6A, E-07, E-08.	No evaluado
Aceites y grasas	Alto riesgo: E-1A, E-02, E-2A, E-17; riesgo moderado: E-2C E-13, E-14; ningún riesgo: E-6A, E-07, E-08, E-11 y E-15. En el resto de estaciones no se tomaron muestras para el análisis de este parámetro.	No evaluado	No evaluado
Manganeso	Alto riesgo: E-1A, E-2A, E-2B, E-2C, E-04 y E-4A; riesgo moderado: E-05, E-06, E-6A, E-6B, E-07, E-08, E-09, E-17 y E-18; ningún riesgo en las demás estaciones.	No evaluado	Superan el ECA (Cat. 1, subcategoría 2): RRima-1 (E-2A), RRima-7 (E-11), RRima-8, RRima-9, RRima-10, RRima-10A, RRima-11 y RRima-12; en las demás estaciones no se supera ECA.
Zinc	Alto riesgo: E-1A; ningún riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-1A y E-20; ningún riesgo para las demás estaciones.	Superan el ECA (Cat. 1, subcategoría 2): LTict-1 (E-01); en las demás estaciones no se supera ECA.
Hierro	Ningún riesgo: E-01; riesgo moderado: E-20, E-03, E-05, E-6B, E-13; alto riesgo en las demás estaciones.	Riesgo moderado: E-3A, E-05, E-06, E-6A, E-08, E-09, E-14, E-15, E-16, E-17, E-18; Ningún riesgo: E-01, E-02, E-03, E-3B, E-07, E-10, E-11 y E-13; alto riesgo en las demás estaciones.	Superan el ECA (Cat. 1, subcategoría 2): RRima-1 (E-2A), RRima-4 (E-07), RRima-5, RRima-6 (E-10), RRima-7 (E-11), RRima-8, RRima-9, RRima-10, RRima-10A, RRima-11 y RRima-12; en las demás estaciones no se supera ECA.

2.8. LOS CAUDALES ECOLÓGICOS

La idea de caudal ecológico nace en Estados Unidos alrededor de los años 60 como preocupación por preservar los sistemas acuáticos de los salmones, una especie importante desde el punto de vista económico (Villanueva y Alata, 2011). Con el transcurrir del tiempo se fueron adicionando nuevos conceptos donde no solamente se consideraron peces, sino también otros organismos

Según García y González (s.f.) *«un caudal circulante por un cauce puede ser considerado como ecológico, siempre que fuese capaz de mantener el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que ese cauce contiene en condiciones naturales».*

«El concepto de caudal ecológico está referido a la cantidad y calidad de agua requerida en los ríos para mantener su estructura y funcionamiento, el intercambio de materia y energía con las zonas de riparias y desembocaduras de las cuencas, atmósfera y el ciclo hidrológico en general» (Jiménez, J et al., 2005).

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

En el Perú, se establece la definición de Caudales Ecológicos según el Artículo N° 153 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338: *«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».*

2.8.1. El Caudal Ecológico y la Gestión Integral de los Recursos Hídricos

Un enfoque de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos promueve la maximización del bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad del ecosistema vital (Global Water Partnership Centroamérica, 2013).

Los caudales ambientales o ecológicos son una parte esencial de la gestión hídrica moderna por el uso excesivo del agua en todo el mundo y el deterioro consiguiente de ecosistemas y de sus servicios.

La gestión del agua y de los recursos biológicos asociados deben ser manejados adecuadamente por la autoridad ambiental, determinando los caudales mínimos capaces de mantener las funciones de los ecosistemas, considerando otros factores como la creciente demanda social por el acceso al agua y el crecimiento económico (UICN, 2003).

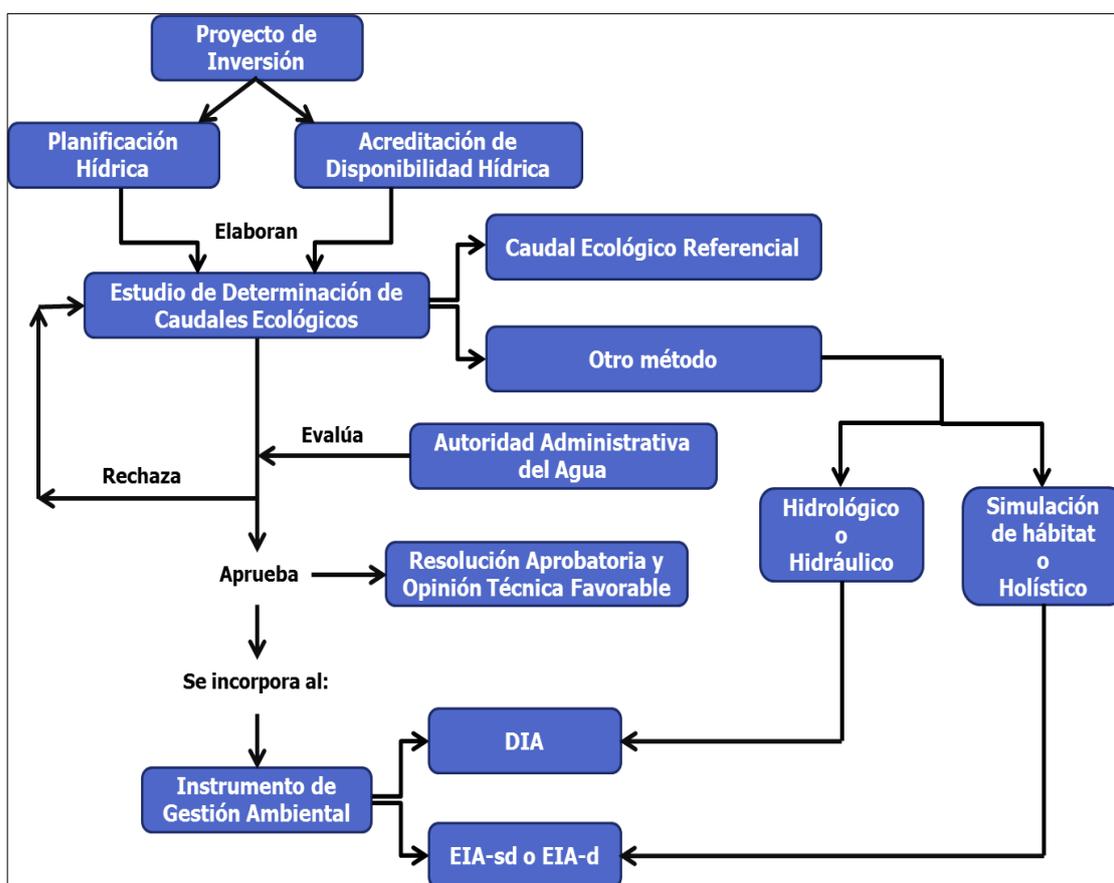


Figura 5: Esquema del proceso de aprobación de Caudales Ecológicos.

FUENTE: ANA, 2016.

Mediante Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA, la Autoridad Nacional del Agua aprueba la metodología para determinar Caudales Ecológicos, donde se establece que los estudios para la determinación de caudales ecológicos son de cumplimiento a nivel nacional para fines de planificación hídrica o para fines de acreditación hídrica de proyectos de inversión, y es facultad de la Autoridad Administrativa del Agua evaluar la acreditación hídrica.

Asimismo, el Artículo N° 4 de la mencionada resolución, indica también que el estudio de determinación de caudales ecológicos puede incorporarse en el Instrumento de Gestión Ambiental aplicable a proyectos de Inversión. El esquema del proceso de aprobación de Caudales Ecológicos se muestra en la Figura 5.

2.8.2. Metodologías para el cálculo de Caudales Ecológicos

Existen más de 200 metodologías diferentes para determinar regímenes de caudales ecológicos (RQeco) que han sido utilizados en más de 50 países (King, citado por Diez Hernández y Burbano 2006). Según el tipo de información usada en su aplicación, éstas se pueden dividir en cuatro grandes grupos: métodos hidrológicos, hidráulicos, de simulación de hábitat y holísticos.

a. Métodos Hidrológicos

Son procedimientos basados en el análisis de la serie hidrológica en régimen natural para la estimación del caudal ecológico, en la que años secos y húmedos estén presentes con la adecuada representatividad. Se considera que la duración mínima para que la serie sea suficientemente representativa es 20 años (Hernández et al. 2008).

- **Método del Caudal Básico de Mantenimiento**

Este método fue propuesto por Antoni Palau en 1993. 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, 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., citado por Perales Pontes, 2010).

- **Método de Tessman**

Determina los caudales mínimos comparando un porcentaje determinado del caudal medio interanual (Q_{an}) con el caudal medio mensual (Q_{mes}), obteniéndose un valor de caudal ecológico mínimo mensual. El caudal mínimo del mes es aquel que satisface alguna de las siguientes condiciones:

- Si $0,4 * Q_{an} > Q_{mes}$; el caudal mínimo recomendado es Q_{mes} .
- Si $0,4 * Q_{an} < 0,4 * Q_{mes}$; el caudal mínimo recomendado es $0,4 * Q_{mes}$.

De no cumplirse ninguna de las desigualdades anteriores el caudal mínimo recomendado es $0,4 * Q_{an}$ (Mayo, 2000).

- **Método de Tennant o Método de Montana**

Tennant (1976) observó que la variación del caudal circulante entre los valores de 0 y 10 por ciento del caudal medio (Q_m), ocasionaba un cambio en las dimensiones de la anchura de la lámina de agua, profundidad y velocidad del agua, y que en promedio, el 10 por ciento del Q_m cubría aproximadamente el 60 por ciento del máximo perímetro mojado.

Asimismo, para un caudal equivalente al 10 por ciento del Q_m , se observan profundidades y velocidades medias de 0,3 m y 0,23 m/s respectivamente. Estos valores estaban al límite

de lo aceptable basándose en otros estudios realizados. Además, concluyó que un 30 por ciento del Q_m creaba un hábitat suficiente para la supervivencia de la mayoría de formas de vida acuática ya que proporcionaba anchuras, profundidades y velocidades satisfactorias.

Para el caso de caudales que representaban el 60 por ciento del Q_m , se esperaba que la mayoría del cauce estuviera cubierta con agua incluyendo las zonas poco profundas, y que la mayoría de la ribera sirviera como refugio para los peces. Así, Tennant concluyó que el 60 por ciento del Q_m proporcionaba condiciones de hábitat excelentes.

Los métodos hidrológicos son de fácil aplicación, bajo costo y rápida ejecución, cuyo único requerimiento son registros históricos de caudal, y que están recomendadas para su aplicación a gran escala, es decir, a nivel de planificación de grandes cuencas (King et al. 1999).

b. Métodos Hidráulicos

Los métodos hidráulicos, relacionan el caudal del río y alguna característica del cauce (velocidad, profundidad, perímetro mojado, u otros). Es una mejora de la metodología hidrológica que incluye medidas específicas del cauce afectadas directamente por la variación de caudal y son factores limitantes para las especies piscícolas u otras. Entre los métodos hidráulicos más conocidos se encuentran:

- **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 disminuciones del caudal se traducen en fuertes variaciones del perímetro mojado (Nelson, 1983). Este punto de inflexión en la curva, obtenida a partir del perímetro mojado medio del tramo derivado del estudio de al

menos 3 a 10 secciones transversales críticas (pudiendo ser más), sirve como criterio para determinar el caudal mínimo (Randolph, 1984).

Las curvas pueden ser desarrolladas aplicando un modelo de flujo uniforme a las secciones transversales o midiendo perímetros mojados bajo distintos caudales circulantes. Sin embargo, la metodología tiene algunos inconvenientes (Gippel y Stewardson, 1996):

- Al promediar la relación entre el perímetro mojado y el caudal para las secciones críticas del tramo, en algunos casos se puede impedir la identificación de los puntos de inflexión basados en la caracterización física de las secciones al quedar implícitos en el valor promedio.
- No siempre existe dicho punto de inflexión, sino que más bien es una zona de inflexión o incluso en muchos casos presentan una transición gradual de la curva, con lo que la búsqueda de ese valor que indica discontinuidad brusca es difícil y su valor depende de la persona que interprete la curva, tal como se representa en la Figura 6.
- El punto de inflexión no tiene un significado biológico claro. Además, no se sabe si la productividad biológica está controlada o al menos se ve afectada por cambios en el perímetro mojado.

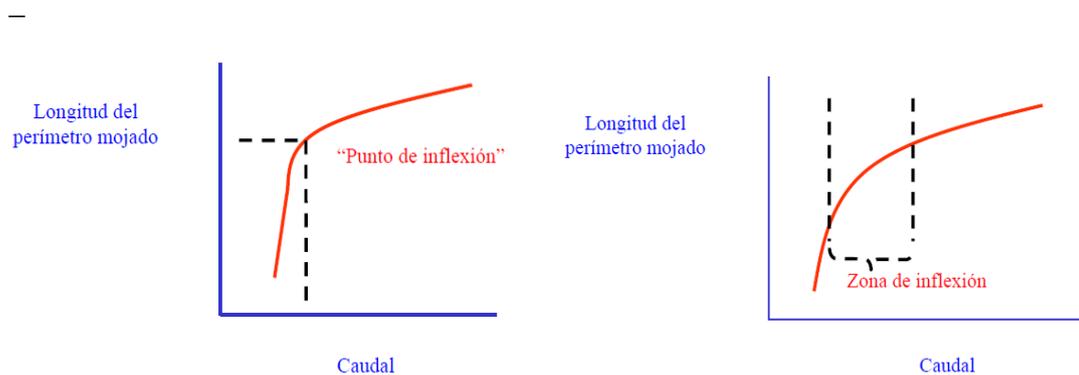


Figura 6: Relación entre el caudal y el perímetro mojado a partir de la cual se deduce el caudal mínimo.

FUENTE: Nelson, 1984.

- **Método de Indicadores de Alteración Hidrológica de Ritche**

Este método sugiere utilizar caudales diarios e índices calculados sobre una base anual del comportamiento hidrológico y su variabilidad estadística (DS), para determinar caudales de referencia para ríos o quebradas en los que el objetivo primario es la protección del ecosistema natural (Villanueva y Alata, 2011). El método tiene en cuenta:

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

- **Método de Variación Hidráulica**

Utilizan cambios en variables hidráulicas para definir el caudal ecológico en ríos anchos y poco profundos, ya que tienden a ser más sensibles a cambios en el caudal y en su perímetro húmedo, en comparación con los ríos angostos y profundos. Algunas desventajas de los métodos hidráulicos son (Villanueva y Alata, 2011):

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

c. Métodos de Simulación de Hábitat

Son metodologías basadas 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 en 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.

- **Método IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*)**

Desarrollado por el Departamento de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos junto con un equipo multidisciplinario, con el objetivo de estimar los impactos ambientales sobre los hábitats en relación a las variaciones de caudal en un tramo de un cauce.

Se basa en el análisis hidrológico para conocer las aportaciones naturales de agua y los efectos que pueden tener sobre la evolución temporal de hábitats. Parte de los siguientes principios elementales (Bovee y Milhous, 1978):

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

El método IFIM simula las condiciones hidráulicas del hábitat como 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.

Al aplicar este modelo se obtiene el área total de hábitat fluvial utilizable, incluyendo su variación con el caudal y las series temporales de hábitat para cada uno de los estadios vitales de la especie considerada. Sin embargo, previo a la aplicación del IFIM, es necesario determinar el grado de equilibrio de la cuenca. Los desequilibrios de una cuenca como los problemas erosivos, conducen a resultados inexactos pues alteran los cauces fluviales y el hábitat natural de las especies.

- **Método PHABSIM (*Physical Habitat Simulation*)**

Es una colección de métodos implementados en *softwares*, que se utilizan para determinar las variaciones que experimenta la disponibilidad de hábitat con el caudal y en función de la morfología del cauce. Los principios en los que se basa PHABSIM son (Bovee, 1982):

- Cada especie tiene un rango de preferencias de las condiciones del hábitat o determinadas tolerancias ante ciertos parámetros del hábitat.
- Los límites de estas preferencias pueden ser determinados para cada una de las especies.
- El área de cauce que posee esas características puede ser cuantificada en función del caudal y de su estructura.

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. Además, computa estos valores para diferentes valores del caudal, obteniendo un índice del área utilizable denominado área ponderada útil (WUA, *Weighted Usable*) (Mayo, 2000). En la Figura 7 se representa el modelo de PHABSIM (*Physical Habitat Simulation*).

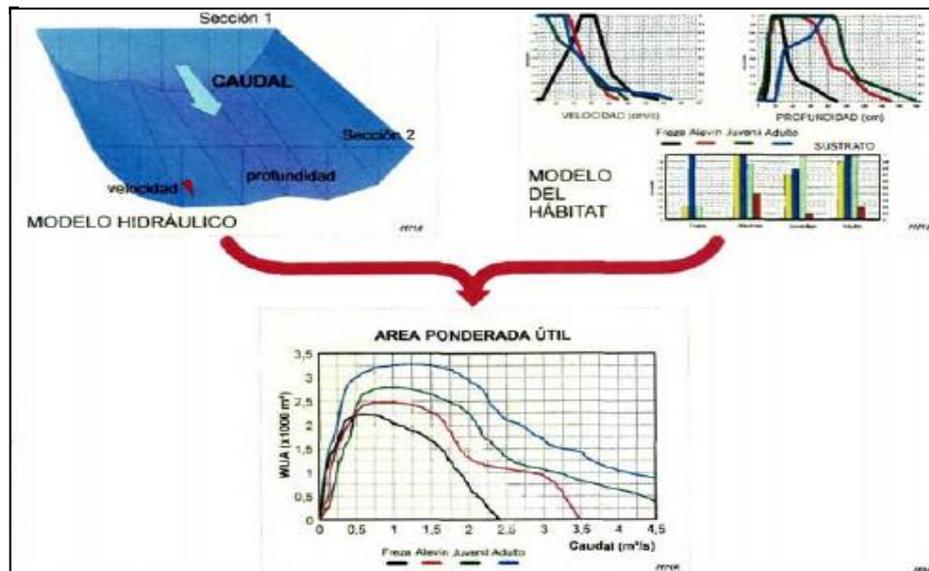


Figura 7: Principales partes integrantes del modelo PHABSIM.

FUENTE: Mayo, 2000.

d. Métodos Holísticos

Son procedimientos donde el caudal ecológico es deducido al buscar una solución consensuada a partir del análisis de la magnitud y distribución del caudal que necesitan los componentes del ecosistema fluvial: aspectos abióticos, ecológicos, perceptuales, socioeconómicos o todos en conjunto (Villanueva Ure, J. y Alata Rey, J., 2011). Se basan en el trabajo de paneles de expertos quienes utilizan su experiencia profesional y datos hidráulicos de la corriente superficial en estudio.

- **Método de Bloques de Construcción (BBM)**

Consiste en analizar, en grupos multidisciplinarios, la respuesta del caudal, las características hidráulicas, la importancia económica y social del área de estudio, etc., tomando en cuenta trabajos de investigación ya realizados y juicios de expertos, realizándose una evaluación de la dependencia social y económica de los ecosistemas ribereños en conjunto con la comunidad (Jamett y Rodrigues, 2008).

Los flujos que representan el caudal ecológico determinado, se describen en términos de duración y magnitud. La descripción de cada uno de los componentes del flujo son considerados como los bloques de construcción, conformando los requerimientos de flujo

para una cuenca o río. También se denomina de tipo Bottom-Up debido a que el caudal recomendado es estimado a partir de un flujo mínimo hacia valores más altos (Villanueva y Alata, 2011).

- **Método de *Benchmarking* o Aproximación *Top-down***

En este método, el caudal es determinado a partir de un flujo máximo aceptable hasta valores menores (aproximación *Top-down*). A partir de información disponible, modelos conceptuales y juicio de expertos, se identifican indicadores hidrológicos que son considerados ecológicamente relevantes para caracterizar los cauces escogidos dentro de un río como *benchmark* o de referencia. Posteriormente, los impactos ecológicos son relacionados en función de cambios en el flujo hídrico y se investiga cuánto puede cambiar el flujo del agua antes de que el ecosistema sea degradado (García y González, s.f.).

- **Método del Caudal de Garantía Ambiental**

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

- Definición del caudal ambiental natural.
- Evaluación ambiental multivariable.
- Determinación del caudal de garantía ambiental.
- Determinación de los caudales de recuperación.
- Determinación de caudal adicional.
- Determinación de requerimientos excepcionales.
- Presupuesto de agua.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron:

- Información hidrométrica de las Estaciones Hidrométricas Chosica, Sheque y Tamboraque, cuyas ubicaciones se muestran en la Figura 8. Las fuentes, los periodos y frecuencias de estos registros se detallan en la Tabla 13.
- Información de calidad del agua superficial: resultados de análisis de muestras tomadas en los puntos de monitoreo cercanos a las Estaciones Hidrométricas mencionadas, las cuales se describen en la Tabla 14 y se representan gráficamente en la Figura 8.
- Software de Sistema de Información Geográfica: Arcgis 10.1 y Google Earth.

Tabla 13: Fuentes de información hidrológica.

Estación Hidrométrica	Fuente de información	Frecuencia	Periodo
Chosica	Autoridad Nacional del Agua (ANA).	Caudales medios mensuales	1921 – 2009
	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).	Caudales medios diarios no regulados	1970 – 2009
Sheque	Autoridad Nacional del Agua (ANA).	Caudales medios mensuales	1965 – 2014
	Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional – COES SINAC.	Caudales medios diarios no regulados	1970 – 2014
Tamboraque	Autoridad Nacional del Agua (ANA).	Caudales medios mensuales	1965 – 2014
	Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional – COES SINAC.	Caudales medios diarios no regulados	1970 – 2014

FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla 14: Puntos de monitoreo seleccionados para evaluar la calidad de agua superficial.

Punto	Ubicación	Coordenadas UTM (WGS 84)	
		Este	Norte
E-14	Río Rímac, aguas arriba de la Estación Hidrométrica Chosica.	316 709	8 681 120
E-08	Río Rímac, aguas arriba de la Estación Hidrométrica Tamboraque.	357 278	8 696 892
RArur - 2	Río Aruri, Aguas arriba de la Estación Hidrométrica Tamboraque.	357 445	8 696 957

FUENTE: ANA (2012) y DIGESA (2011).

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Análisis de la información existente

Se consideraron las Estaciones Hidrométricas Chosica, Sheque y Tamboraque como puntos referenciales para definir los tramos de interés en el río por el aforo de caudales que se realiza en ellos, y permiten conocer el comportamiento hidrológico de las subcuencas donde se ubican (ver Figura 8).

Con el fin de identificar y corregir los posibles errores en los registros de caudales medios mensuales, se realizó el análisis estadístico de saltos (consistencia en la media y desviación estándar).

Asimismo, se realizó el análisis gráfico de los hidrogramas de caudales medios diarios no regulados para Estaciones Hidrométricas Chosica, Sheque y Tamboraque en cada año de registro, con el objetivo de identificar y corregir errores puntuales en las series.

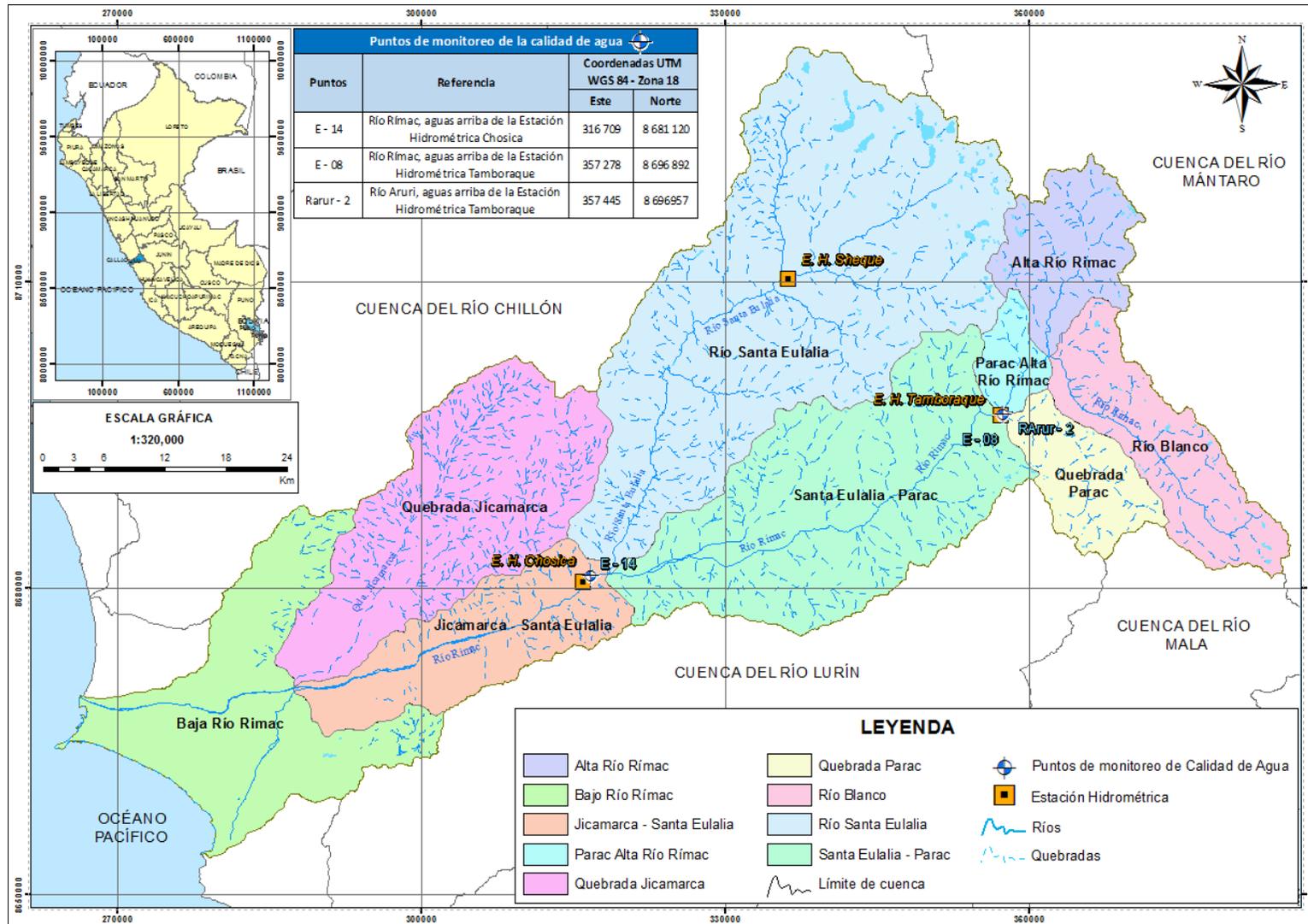


Figura 8: Ubicación de Estaciones Hidrométricas y puntos de monitoreo de Calidad de Agua.

FUENTE: ANA, 2010.

a. Estación Hidrométrica Chosica

Se cuenta con los registros de caudales medios diarios no regulados comprendido desde 1970 hasta 2009, así como los caudales medios mensuales del periodo 1921 – 2009, tal como se describe en la Tabla 13. Esta información se presenta en el Anexo 1.

a.1. Análisis gráfico de la información hidrográfica

Se detectaron ausencias o errores en datos puntuales en la serie original de caudales medio diarios no regulados mediante el análisis gráfico del hidrograma para cada año de la serie (1970 – 2009), tal como se ejemplifica en la Figura 9.

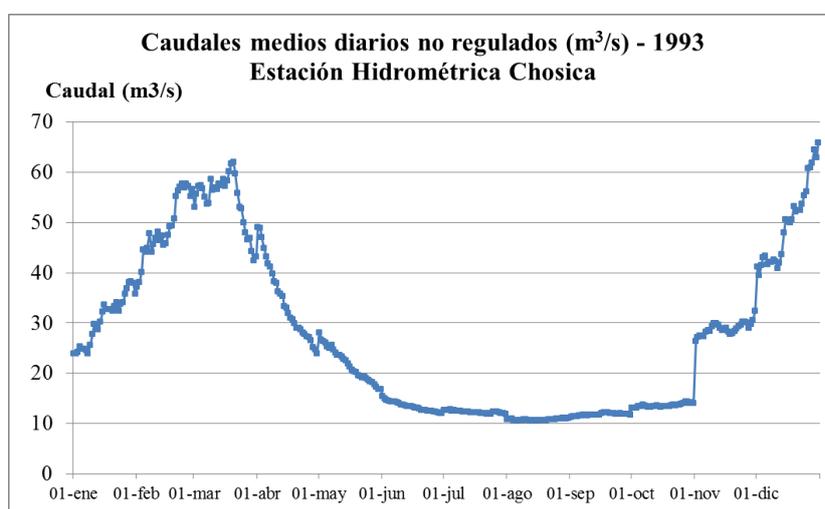


Figura 9: Hidrograma de caudales medios diarios (CMD) no regulados – Año 1993.

FUENTE: Elaboración propia.

a.2. Análisis estadístico

El análisis gráfico y de doble masa de las series de caudales medios mensuales de las estaciones Chosica, Sheque y Tamboraque realizado por ANA (2010) para el periodo 1921 – 2009, determina que estas series no presentan “quiebres” o indicios de periodos dudosos con posibles errores en los datos a causa de fenómenos naturales o sistemáticos.

Sin embargo, en la presente investigación se realizó el análisis estadístico de saltos de la serie de caudales medios mensuales del periodo 1921 – 2009 de la Estación Hidrométrica Chosica, considerando la división en submuestras: n_1 (1921 – 1965) y n_2 (1966 – 2009). El

criterio para la separación de periodos, es el inicio del funcionamiento del sistema de trasvases de agua hacia el río Rímac, en el año 1966.

La consistencia en la media se realiza mediante la prueba estadística "T" de Student y para la consistencia en desviación estándar se usa la prueba estadística de "F" de Fisher. Si los parámetros media y la desviación estándar de los períodos considerados son iguales estadísticamente, entonces no se corrige la información; de lo contrario, se debe corregir la serie inicial.

- **Consistencia en la media**

Consiste en probar mediante una prueba de hipótesis o prueba estadística t de Student, si los valores medios (\bar{x}_1, \bar{x}_2) de dos submuestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95 por ciento o con cinco por ciento de nivel de significación.

– Cálculo de la media y de la desviación estándar para las submuestras:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad ; \quad S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad ; \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

x_i = valores de la serie del período 1

x_j = valores de la serie del período 2

\bar{x}_1, \bar{x}_2 = media de los períodos 1 y 2 respectivamente

$S_1(x), S_2(x)$ = desviación estándar de los períodos 1 y 2 respectivamente

n = tamaño de la muestra

n_1, n_2 = tamaño de las submuestras ($n = n_1 + n_2$).

– Cálculo del t calculado (t_c) según:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}}$$

Donde:

- Se plantea la hipótesis (H) de que las medias de los dos periodos son iguales, es decir, $\mu_1 - \mu_2 = 0$, quedando:

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

- Por su parte, la hipótesis nula (H_0): $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Además:

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

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

Siendo:

$S_{\bar{d}}$ = desviación de las diferencias de los promedios

S_p = desviación estándar ponderada

– Cálculo del t tabular (t_t):

El valor crítico de t se obtiene de la tabla t de Student, con una probabilidad al 95 por ciento, o con un nivel de significación del cinco por ciento, es decir con $\alpha/2 = 0.0025$ y con 87 grados de libertad ($\nu = n_1 + n_2 - 2 = 45 + 44 - 2 = 87$).

– Comparación del t_c con el t_t :

Si $|t_c| \leq t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente). En este caso, dado que las medias son estadísticamente iguales ($\bar{x}_1 = \bar{x}_2$), se acepta la hipótesis (H) no realiza proceso de corrección.

Si $|t_c| > t_t$ (95%) $\rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente). En este caso, las medias son estadísticamente diferentes ($\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$), se rechaza la hipótesis (H), y se acepta la hipótesis nula (H_0), por lo tanto, se debe corregir la información.

- **Consistencia en la Desviación Estándar**

La consistencia en la desviación estándar, consiste aplicar la prueba estadística F, para determinar si los valores de las desviaciones estándar de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes con un 95 por ciento de probabilidad o con un cinco por ciento de nivel de significación.

Donde:

- Se plantea la hipótesis (H): las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son iguales, es decir, $S_1^2(x) = S_2^2(x)$.
- Por otra parte, la hipótesis nula (H_0): las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son diferentes, es decir, $S_1^2(x) \neq S_2^2(x)$.

El proceso de la prueba F, consiste en:

– Cálculo de las varianzas de ambos periodos:

$$S_1^2(x) = \left(\frac{1}{n_1 - 1}\right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2$$

$$S_2^2(x) = \left(\frac{1}{n_2 - 1}\right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

– Cálculo del F calculado (F_c), según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

– Cálculo del F tabular (valor crítico de F o F_t)

Se obtiene de las tablas F, para una probabilidad del 95 por ciento, es decir, con un nivel de significación $\alpha = 0,05$ y grados de libertad determinados de la siguiente manera:

$$\text{G.L.N} = n_1 - 1 = 44, \text{ G.L.D} = n_2 - 1 = 43, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$\text{G.L.D} = n_2 - 1 = 43, \text{ G.L.N} = n_1 - 1 = 44, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Donde:

G.L.N. = Grados de libertad del numerador.

G.L.D. = Grados de libertad del denominador.

– Comparación del F_c con el F_t

Si $|F_c| \leq F_t$ (95%) $\rightarrow S_1^2(x) = S_2^2(x)$ (estadísticamente), por lo tanto, se acepta la hipótesis (H) y no se debe realizar proceso de corrección.

Si $|F_c| > F_t$ (95%) $\rightarrow S_1^2(x) \neq S_2^2(x)$ (estadísticamente), por lo tanto, se rechaza la hipótesis (H), y se acepta la hipótesis nula (H_0) y se debe corregir la información.

En casos donde los parámetros media y desviación estándar de las submuestras de las series de tiempo resulten estadísticamente diferentes, se corrigen los valores de dichas submuestras mediante las siguientes ecuaciones. Cuando se deban corregir los valores de la submuestra de tamaño n_1 :

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

O cuando se deban corregir los valores de la submuestra de tamaño n_2 :

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

b. Estación Hidrométrica Sheque

En la Estación Hidrométrica Sheque, se cuenta con el registro de caudales medios diarios no regulados comprendido desde el año 1970 al 2014 y caudales medios mensuales para el periodo entre 1965 – 2014 (ver Anexo 2).

Al igual que en la estación Chosica, el análisis gráfico y de doble masa realizado por ANA (2010), concluye que la serie de caudales medios mensuales (1965 – 2009) no presenta “quiebres” o indicios de datos inconsistentes; sin embargo, en la presente investigación se realizó el análisis de saltos (consistencia en la media y desviación estándar), considerando que, según SENAMHI (2014), la precipitación en la cuenca alta del río Rímac ha presentado anomalías (positivas o negativas) que han condicionado el escurrimiento superficial (caudal), generando superávits o déficits en la cuenca desde 1965 hasta la última anomalía registrada en el año 2000, donde se presentó un superávit en el flujo de agua de la cuenca, especialmente en las zonas donde se ubican las Estaciones Hidrométricas Sheque y Tamboraque.

Por tal motivo, el análisis estadístico de saltos (consistencia en la media y desviación estándar) se realizó para identificar posibles inconsistencias en las series de caudales medios mensuales a causa de las anomalías ocurridas entre: n_1 (1965 – 2000), y el periodo sin anomalías: n_2 (2001-2014).

c. Estación Hidrométrica Tamboraque

Al igual que en la Estación Hidrométrica Sheque, la información disponible de la Estación Hidrométrica Tamboraque comprende los caudales medios diarios no regulados del periodo 1970 – 2014 y caudales medios mensuales del periodo 1965 – 2014 (ver Anexo 3).

Asimismo, se llevó a cabo el análisis estadístico de saltos (consistencia en la media y desviación estándar) para los datos de caudales medios mensuales del periodo 1965 – 2014, tomando como submuestras: n_1 (1965 – 2000) y n_2 (2001 – 2014).

3.2.2. Método del Caudal Básico de Mantenimiento

a. El Año Hidrológico

Entiéndase por año hidrológico al período de doce meses que comprende un ciclo hidrológico completo, partiendo del mes en que se observan los valores mínimos (Vera, 2002). En el Método del Caudal Básico de Mantenimiento, es importante determinar el mes de inicio del año hidrológico, ya que puede condicionar el resultado final.

Es recomendable iniciar el año en un mes que no contenga el mínimo caudal medio diario anual, ni el caudal medio mensual diario más bajo (Palau, 1994). Es importante también considerar fenómenos climáticos que puedan alterar los caudales del río y su variabilidad

Para el caso del río Rímac, el año hidrológico comprende desde el uno de setiembre hasta el 31 de agosto. Sin embargo, por sugerencia de Alcázar (2007), se determinaron los Caudales Básicos para distintos grupos de 12 meses a lo largo de los años considerados como alternativas al año hidrológico para evaluar la variación de resultados y plantear posibles soluciones, tal como se muestra en la Figura 10.

En el presente estudio, la propuesta de ajuste al método del Caudal Básico de Mantenimiento, es tomar como mejor alternativa de Caudales Ecológicos al Régimen de Caudales de Mantenimiento con los menores valores a lo largo del año.

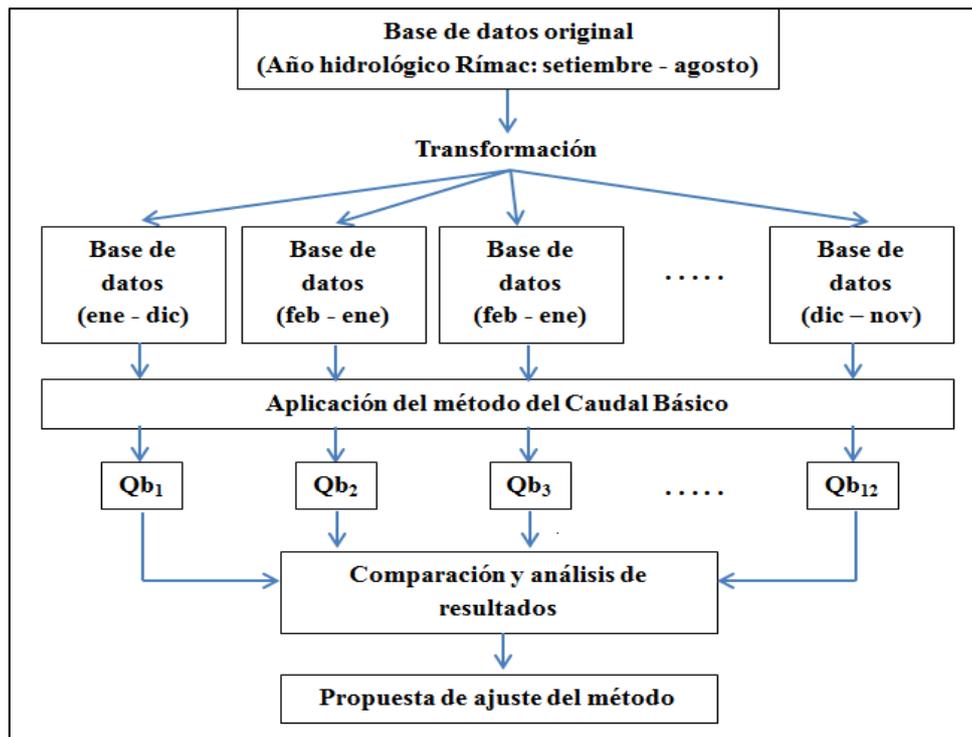


Figura 10: Esquema metodológico del estudio para la definición del año hidrológico.

FUENTE: Alcázar, 2007.

b. Años considerados para el cálculo del Caudal Básico de Mantenimiento

Los Caudales Básicos fueron calculados para distintos periodos de años empezando con el último registro representativo (más reciente) y se analizó la estabilidad de los valores obtenidos (Palau, 2004). Adicionalmente, se tomaron en cuenta los siguientes criterios para establecer el periodo de años de las series de caudales a considerar (Alcázar, 2007):

- Se debe tratar de un periodo en el cual el valor de Qb se estabiliza.
- Dicho periodo debe abarcar todas las variaciones y características ambientales que puedan condicionar las comunidades actuales del ecosistema fluvial.
- Se debe contar con registros continuos y fiables de la estación de aforo.

Los registros históricos de caudales medios diarios no regulados considerados en el proceso de cálculo varían de acuerdo a la disponibilidad de datos confiables en las estaciones, por ejemplo, la presencia de huaicos en los años 2012 y 2015 afectaron la calidad de los datos de caudales registrados en la Estación Hidrométrica Chosica

(INGEMET, 2015). Por esta razón, se calcularon los Caudales de Mantenimiento empleando la información de los periodos mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15: Periodos de cálculo de Caudales de Mantenimiento.

Estación Hidrométrica	Periodo de Cálculo
Chosica	1970 – 2009 (40 años)
	1980 – 2009 (30 años)
	1990 – 2009 (20 años)
Sheque	1970 – 2014 (45 años)
	1980 – 2014 (35 años)
	1990 – 2014 (25 años)
Tamboraque	1970 – 2014 (45 años)
	1980 – 2014 (35 años)
	1990 – 2014 (25 años)

FUENTE: Elaboración propia.

Cabe mencionar, que la Autoridad Nacional del Agua, mediante Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA, establece que en el caudal ecológico referencial se debe calcular con un registro histórico no menor de 20 años.

c. Proceso de cálculo

c.1. Caudal Básico (Qb)

A partir de los registros históricos de series de caudales medios diarios no regulados, “ q_i^j ”, donde “j” son los años considerados e “i” son los días del año y por lo tanto varía de uno a 365, se obtuvo una matriz de 365 filas y “j” columnas de caudales medios diarios no regulados, como se muestra en la Figura 11.

Q_1^1	Q_1^2	Q_1^3	Q_1^4	...	Q_1^j	→ Día 1
Q_2^1	Q_2^2	Q_2^3	Q_2^4	...	Q_2^j	→ Día 2
Q_3^1	Q_3^2	Q_3^3	Q_3^4	...	Q_3^j	→ Día 3
Q_4^1	Q_4^2	Q_4^3	Q_4^4	...	Q_4^j	→ Día 4
Q_5^1	Q_5^2	Q_5^3	Q_5^4	...	Q_5^j	→ Día 5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
Q_{365}^1	Q_{365}^2	Q_{365}^3	Q_{365}^4	...	Q_{365}^j	→ Día 365
↓	↓	↓	↓		↓	
Año 1	Año 2	Año 3	Año 4		Año "j"	

Figura 11: Matriz de Caudales Medios Diarios (CMD).

FUENTE: Elaboración propia.

La época de estiaje para el río Rímac comprende los meses de junio a noviembre, es decir, seis meses o 180 días en promedio (ANA, 2010), por lo tanto, sobre cada columna de esta matriz en cada uno de los años considerados y empezando por el último año disponible (más actual), se calcularon las medias móviles sobre intervalos de orden crecientes comenzando en uno, medias de datos tomados de uno en uno, hasta un máximo de 180 (medias de datos tomados de 180 en 180).

De esta forma, se obtuvieron "j" tablas trapezoidales de 180 columnas y un número de filas que va de 365 en la primera columna (medias móviles de orden uno) a 186 en la última columna (medias móviles de orden 180) como en la Figura 12.

q_1^j	$\frac{1}{2}(q_1^j + q_2^j)$	$\frac{1}{3}(q_1^j + q_2^j + q_3^j)$	...	$\frac{1}{180}(q_1^j + q_2^j + \dots + q_{180}^j)$
q_2^j	$\frac{1}{2}(q_2^j + q_3^j)$	$\frac{1}{3}(q_2^j + q_3^j + q_4^j)$	...	$\frac{1}{180}(q_2^j + q_3^j + \dots + q_{181}^j)$
q_3^j	$\frac{1}{2}(q_3^j + q_4^j)$	$\frac{1}{3}(q_3^j + q_4^j + q_5^j)$	...	$\frac{1}{180}(q_3^j + q_4^j + \dots + q_{182}^j)$
q_4^j	$\frac{1}{2}(q_4^j + q_5^j)$	$\frac{1}{3}(q_4^j + q_5^j + q_6^j)$	...	$\frac{1}{180}(q_4^j + q_5^j + \dots + q_{183}^j)$
q_5^j	$\frac{1}{2}(q_5^j + q_6^j)$	$\frac{1}{3}(q_5^j + q_6^j + q_7^j)$	...	$\frac{1}{180}(q_5^j + q_6^j + \dots + q_{184}^j)$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
				$\frac{1}{180}(q_{186}^j + q_{187}^j + \dots + q_{365}^j)$
q_{363}^j	$\frac{1}{2}(q_{363}^j + q_{364}^j)$	$\frac{1}{3}(q_{363}^j + q_{364}^j + q_{365}^j)$		
q_{364}^j	$\frac{1}{2}(q_{364}^j + q_{365}^j)$			
q_{365}^j				

Figura 12: Matriz trapezoidal de medias móviles de caudales medios diarios.

FUENTE: Elaboración propia.

De manera general, cada elemento de las matrices triangulares corresponde a una media móvil que tiene la expresión matemática:

$$\mu_{p,s}^j = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^{k=s} q_{p+k-1}^j$$

Donde “s” es el intervalo escogido de media móvil (varía de uno a 180), “p” es el número de orden de la media móvil dentro de cada columna de la matriz (varía de uno a “366-s”) y “j” es el año considerado.

En cada una de las columnas se obtuvo un valor mínimo ($\min \mu_{p,s}^j$), que corresponde al mínimo promedio del periodo de caudales medios diarios de 1, 2, 3,..., 180 días consecutivos (considerado un intervalo suficiente para contener los máximos periodos de estiaje), y que tiende hacia el caudal medio anual (media móvil de orden 365), siendo por lo tanto, siempre menor que él. Esto se repitió para cada uno de los años considerados,

obteniéndose una matriz de caudales mínimos de “j” (años) por 180 datos como en la Figura 13.

$\min \mu_{p,1}^1$	$\min \mu_{p,2}^1$	$\min \mu_{p,3}^1$	...	$\min \mu_{p,179}^1$	$\min \mu_{p,180}^1$
$\min \mu_{p,1}^2$	$\min \mu_{p,2}^2$	$\min \mu_{p,3}^2$	...	$\min \mu_{p,179}^2$	$\min \mu_{p,180}^2$
$\min \mu_{p,1}^3$	$\min \mu_{p,2}^3$	$\min \mu_{p,3}^3$	...	$\min \mu_{p,179}^3$	$\min \mu_{p,180}^3$
$\min \mu_{p,1}^4$	$\min \mu_{p,2}^4$	$\min \mu_{p,3}^4$	...	$\min \mu_{p,179}^4$	$\min \mu_{p,180}^4$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$\min \mu_{p,1}^j$	$\min \mu_{p,2}^j$	$\min \mu_{p,3}^j$	...	$\min \mu_{p,179}^j$	$\min \mu_{p,180}^j$

Figura 13: Matriz de medias móviles mínimas de caudales medios diarios.

FUENTE: Elaboración propia.

A partir de la matriz de mínimos, se calcularon las medias aritméticas por columnas, y se obtuvo una serie de 180 valores (vector Vs) sobre los que se calculará el mayor incremento relativo (IR) entre cada par de valores consecutivos, siendo el Qb el caudal mayor que define dicho par de valores.

c.2. Caudal de Mantenimiento (Qm)

El Qb no puede ser un caudal fijo a lo largo del año, sino que debe variar siguiendo un patrón similar al régimen de caudales naturales. Esta variación de caudales se consigue a través de la aplicación de un factor de variabilidad temporal al caudal obtenido (Qb).

Este factor de variabilidad temporal se encarga de adecuar el régimen de caudales mínimos a las tendencias de variación del hidrograma natural, y se calcula a partir de la relación atenuada entre el caudal medio de cada mes (Qmesi) y el caudal medio mensual más bajo (Qmesmin). De forma general, se aplica a nivel mensual, pero podría establecerse para cualquier escala de tiempo (Alcázar, 2007). El caudal mínimo para cada mes puede expresarse:

$$Q_{mti} = Q_b \times \sqrt{\frac{Q_{mesi}}{Q_{mesmin}}}$$

Donde:

- Q_{mti} = Caudal mínimo para el mes “i”
- Q_b = Caudal Básico
- Q_{mesi} = Caudal medio del mes “i” para el periodo de años considerados.
- Q_{mesmin} = Caudal medio mensual más bajo.

Estos caudales mensuales deben circular como mínimo y de forma natural por el río en cada periodo de tiempo establecido (meses) siempre que el caudal natural instantáneo en el punto considerado sea igual o superior al caudal de mantenimiento para dichos periodos; en caso contrario, el caudal de mantenimiento correspondería al caudal instantáneo.

3.2.3. El Caudal Ecológico Referencial (CER)

Con el fin de comparar los resultados obtenidos con el método del Caudal Básico de Mantenimiento, se determinaron los Caudales Ecológicos Referenciales (CER) siguiendo la metodología propuesta por la Autoridad Nacional del Agua en la Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA, Título II «Metodología y criterios generales para la determinación de Caudales Ecológicos», donde se define como Caudal Ecológico Referencial, a aquel valor equivalente al caudal determinado con 95 por ciento de persistencia en el tramo de interés de la fuente natural de agua, utilizando la información estadística de por lo menos veinte años.

a. Proceso de cálculo

1. Se ordenaron las series de caudales medios mensuales ($Q_{mmA,A+N-1}$) en columnas, donde cada columna representa los datos correspondientes a un mes específico, tal como se muestra en la Tabla 16.
2. En una columna a la izquierda de las series de datos, se coloca el número de orden de cada dato (m), empezando desde uno hasta N, donde N es el número de datos de caudales medios.

3. En otra columna a la derecha de la columna con el orden de cada dato, calcular la probabilidad $p = m_N/N*100$.
4. En las siguientes columnas, colocar los datos de caudales medios, una columna por mes.

Donde:

- A : Años de registro de información de caudales medios analizados.
- $Qm_{p,A+N+1}$: Caudal medio mensual durante el mes “p” ($1 \leq p \leq 12$) para el año “A+N-1”.

5. Ordenar cada columna con datos de caudales de mayor a menor.
6. Calcular los datos que corresponden a $p = 95$ por ciento. Si en la columna de probabilidad, no se encuentra un valor exacto de $p = 95$ por ciento, se deberá interpolar los valores adyacentes (interpolación lineal) para calcular el valor.

Tabla 16: Matriz de cálculo de CER.

Año	Orden (m)	p(%)	Ene	Feb	Mar	...	Dic
A	$m_1 = 1$	$m_1/N*100$	$Qm_{1,A}$	$Qm_{2,A}$	$Qm_{3,A}$	...	$Qm_{12,A}$
A+1	$m_2 = 2$	$m_2/N*100$	$Qm_{1,A+1}$	$Qm_{2,A+1}$	$Qm_{3,A+1}$	...	$Qm_{12,A+1}$
A+2	$m_3 = 3$	$m_3/N*100$	$Qm_{1,A+2}$	$Qm_{2,A+2}$	$Qm_{3,A+2}$	...	$Qm_{12,A+2}$
.
.
.
A+N-2	$m_{N-1} = N-1$	$m_{N-1}/N*100$	$Qm_{1,A+N-2}$	$Qm_{2,A+N-2}$	$Qm_{3,A+N-2}$	...	$Qm_{12,A+N-2}$
A+N-1	$m_N = N$	100	$Qm_{1,A+N-1}$	$Qm_{2,A+N-1}$	$Qm_{3,A+N-1}$	...	$Qm_{12,A+N-1}$

FUENTE: Elaboración propia.

3.2.4. Calidad del agua superficial

Por sugerencia de Palau (2004), se debe verificar la calidad del agua superficial de los tramos de estudio de manera complementaria a la determinación de caudales ecológicos para verificar la disponibilidad del cuerpo de agua tanto en cantidad como en calidad.

Se utilizó la información de calidad de agua superficial obtenida por DIGESA en los monitoreos realizados en los meses de enero a agosto durante el año 2011 en los puntos descritos en la Tabla 14, los cuales son más próximos a las estaciones de aforo de Chosica y Tamboraque. Estos datos constituyen una fuente de información confiable realizada en toda la extensión de la cuenca.

Se evaluaron las concentración de los parámetros analizados comparándolos con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua vigentes durante la toma de muestras (D.S. N° 002-2008-MINAM) y su modificatoria (D.S. N° 004-2017-MINAM).

3.2.5. Calculo del caudal para el cumplimiento de Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Q_{ECA})

Las concentraciones de parámetros contaminantes indican la proporción de las cantidades de sustancia (masa) en un volumen determinado de agua. Esta proporción es invariable en un momento dado (en el que se desarrolla el muestreo) independientemente del flujo de agua (caudal), por lo tanto, cantidad de sustancia puede estar en mayor o menor grado de dilución y puede superar o estar por debajo de los ECA.

Por el contrario, la variable que indica la presencia y transporte de un contaminante en un punto específico del río, es la carga másica. Se define a la carga másica, o carga contaminante, como una medida que representa la masa de contaminante a razón de una unidad de tiempo contenida en una corriente o flujo (CIGEA, 1998).

Una vez identificados los parámetros cuyas concentraciones superan los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA) y los caudales medios mensuales multianuales registrados en las estaciones estudiadas, se determinaron las cargas másicas (CM) de los parámetros (contaminantes) según la fórmula:

$$CM_x = C_{xi} * Q_{mi}$$

Donde:

- CM_x = Carga másica del parámetro “x” (mg/s).
- C_{xi} = Concentración del elemento o compuesto “x” en el mes “i” (mg/L).
- Q_{mi} = Caudal medio mensual multianual del mes “i” (L/s).

De manera similar, se relacionaron las variables descritas anteriormente, ya que la carga másica es constante según la concentración registrada para cada mes en los monitoreos realizados:

$$CM_x = ECA_{xi} * Q_{ECA}$$

Por lo tanto:

$$Q_{ECA} = \frac{C_{xi} * Q_{mi}}{ECA_{xi}}$$

Donde:

- ECA_{xi} = Estándar de Calidad Ambiental para Agua del elemento o compuesto “x” en el mes “i” (mg/L), vigente durante el monitoreo (D.S. N° 002-2008-MINAM) o su modificatoria mediante D.S. N° 015-2015-MINAM,
- Q_{ECA} = Caudal medio mensual multianual calculado del mes “i” (L/s) para el cumplimiento del ECA .

El Q_{ECA} constituye el caudal en el cual la concentración del parámetro sería igual al Estándar de Calidad Ambiental para Agua, es decir, el caudal mínimo que debería escurrir en el río para cumplir con lo establecido en dicha normativa. Sin embargo, en las estaciones estudiadas existe más de un parámetro cuya concentración supera los ECA teniendo más de un Q_{ECA} para el mes “i”.

En ese caso, el Q_{ECA} considerado es el mayor caudal de los calculados, por ser aquel garantice el cumplimiento de los ECA de todos los parámetros analizados.

Se calcularon los Q_{ECA} con la información de los monitoreos de agua en las estaciones de muestreo E-14 y E-08 y los registros de caudales de las estaciones hidrométricas Chosica y Tamboraque. No se consideró la estación RArur-2, que pertenece al río Aruri, y se encuentra a pocos metros aguas arriba de la afluencia de éste al río Rímac, donde también se ubica la estación E-08. Además, en la estación RArur-2 no se registraron los caudales circulantes, por lo tanto, la estación E-08 contiene la carga másica del río Aruri y registra el flujo de ambos ríos.

3.2.6. Determinación del Caudal Ecológico en el río Rímac

El criterio para discriminar o descartar ciertos periodos y grupos de meses para definir los Caudales Ecológicos a partir de los Caudales de Mantenimiento (Q_m), es la ocurrencia de eventos extremos que afecten régimen de caudales del río o sus quebradas (avenidas, desprendimientos de tierra, inundaciones, huaicos, destrucción de infraestructura de contención de cauce o vías de acceso, represamientos, viviendas, etc.).

Según información proporcionada por el Instituto Geológico, Minero, y Metalúrgico (INGEMMET), se tiene registro de los siguientes eventos en la cuenca del río Rímac, los cuales alteraron los registros históricos de la Estación Hidrométrica Chosica y la cuenca baja:

- El día 15 de enero del año 1970 y el 30 de enero de 1976, se activaron las quebradas Quirio y San Antonio.
- El día 01 de abril de 1983 se activó la quebrada Cashahuacra.
- El 09 de marzo de 1987 se activaron las quebradas Quirio, Pedregal, Carossio, Corrales y Cashahuacra.
- En febrero de 2009, la quebrada Quirio presentó un desprendimiento de detritus de pequeñas dimensiones.
- El 05 de abril del año 2012, se activaron las quebradas Pablo Patrón/Dos Amigos, La Cantuta, Santo Domingo, Coricancha y Los Cóndores.
- El 09 febrero del 2015, se activaron las quebradas Huampani, Chacrasana, Santa María, Quirio, San Antonio, Mariscal Castilla, California y la Floresta.

En la Subcuenca Santa Eulalia, donde se ubica la estación Sheque, se registraron huaicos violentos en los años 1965 y 1978, afectando las zonas de Pomaticla y Cashahuacra ubicadas en el cono deyectivo de la quebrada Cashahuacra.

A partir de esta evaluación, se establecieron los periodos de registros que representan los Caudales Ecológicos en río Rímac, tal como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17: Periodos de registro que definen el Caudal Ecológico en la cuenca del río Rímac.

Estación Hidrométrica	Periodo que define el Caudal de Mantenimiento (Qm)
Chosica	1990 – 2009
Sheque	1990 – 2014
Tamboraque	1970 – 2014

FUENTE: Elaboración propia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Análisis de la información existente

a. Estación Hidrométrica Chosica

El análisis gráfico de caudales medios diarios no regulados de la Estación Hidrométrica Chosica se muestra en el Anexo 4. Se observan variaciones moderadas en temporada húmeda (diciembre – mayo), y mayor estabilidad en los valores en temporada seca (junio – noviembre), lo que permite obtener resultados confiables con el Método del Caudal Básico. Asimismo, los resultados del análisis estadístico de caudales medios mensuales se muestran a continuación:

a.1. Análisis estadístico de caudales medios mensuales

Se realizó el análisis estadístico de consistencia en la media y desviación estándar de la serie de caudales medios mensuales registrados entre 1921 – 2009 considerando los periodos: $n_1 = 45$ años (desde enero de 1921, hasta diciembre de 1965) y $n_2 = 44$ años (desde enero de 1966, hasta diciembre de 2009).

• Consistencia en la media

- Se plantea la hipótesis (H) de que las medias de los dos periodos son iguales, es decir, $\mu_1 - \mu_2 = 0$.
- Asimismo, la hipótesis nula (H_0): $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$.

– Medias y desviaciones estándar:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad ; \quad S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad \bar{x}_1 = 28,37 \quad ; \quad S_1(x) = 5,41$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad ; \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad \bar{x}_2 = 26,27 \quad ; \quad S_2(x) = 6,88$$

– Cálculo del t calculado (t_c) según:

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad S_p = 6,18$$

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad S_{\bar{d}} = 1,31$$

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}} \quad ; \quad t_c = 1,607$$

– El t tabular (t_t) se obtiene de la tabla t de Student, con una probabilidad del 95 por ciento o con un nivel de significación del cinco por ciento, es decir con $\alpha/2 = 0,0025$ y con 87 grados de libertad ($\nu = n_1 + n_2 - 2 = 45 + 44 - 2 = 87$):

$$t_t = 1,645$$

– Comparando:

$$1,607 \leq 1,645 \quad ; \quad |t_c| \leq t_t$$

Por lo tanto, las medias \bar{x}_1 y \bar{x}_2 son estadísticamente iguales para un proceso de y no se debe realizar proceso de corrección.

- **Consistencia en la Desviación Estándar**

- Se plantea la hipótesis (H): las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son iguales, es decir, $S_1^2(x) = S_2^2(x)$.
- Por otra parte, la hipótesis nula (H_0): las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son diferentes, es decir, $S_1^2(x) \neq S_2^2(x)$.

– Se calcularon las varianzas de ambos periodos:

$$S_1^2(x) = \left(\frac{1}{n_1 - 1}\right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \quad ; \quad S_1^2(x) = 29,30$$

$$S_2^2(x) = \left(\frac{1}{n_2 - 1}\right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \quad ; \quad S_2^2(x) = 47,30$$

– Cálculo del F calculado (F_c), según:

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ dado que } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Entonces:

$$F_c = 1,615$$

– Cálculo del F tabular (F_t), obtenido de las tablas F para una probabilidad del 95 por ciento, es decir, con un nivel de significación $\alpha = 0,05$ y grados de libertad determinados por:

$$\text{G.L.N} = n_2 - 1 = 43, \text{ G.L.D} = n_1 - 1 = 44, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Entonces:

$$F_t = 1,690$$

– Comparando:

$$|F_c| \leq F_t \quad ; \quad 1,615 \leq 1,690$$

Por lo tanto, $S_1^2(x) = S_2^2(x)$ son iguales estadísticamente y no se debe realizar proceso de corrección.

b. Estación Hidrométrica Sheque

A partir de los hidrogramas de caudales medios diarios no regulados (ver Anexo 5), se verificó la presencia de errores puntuales. Asimismo, se realizó análisis estadístico de la serie de datos de caudales medios mensuales, tal como se muestra a continuación:

b.1. Análisis estadístico de caudales medios mensuales

Se realizó el análisis estadístico de consistencia en la media y desviación estándar de la serie de caudales medios mensuales registrados entre 1965 – 2014, considerando los periodos: $n_1 = 36$ años (desde enero de 1965, hasta diciembre de 2000) y $n_2 = 14$ años (desde enero de 2001, hasta diciembre de 2014).

• Consistencia en la media

- Se plantea la hipótesis (H) de que las medias de los dos periodos son iguales, es decir, $\mu_1 - \mu_2 = 0$.
- Asimismo, la hipótesis nula (H_0): $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$.

– Medias y desviaciones estándar:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad ; \quad S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad \bar{x}_1 = 5,00; S_1(x) = 1,69$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad ; \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad \bar{x}_2 = 5,74 \quad ; \quad S_2(x) = 1,31$$

– Cálculo del t calculado (t_c) según:

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad S_p = 1,59$$

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad S_{\bar{d}} = 0,50$$

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}} \quad ; \quad t_c = -1,48$$

– El t tabular (t_t) se obtiene de la tabla t de Student, con una probabilidad del 95 por ciento o con un nivel de significación del cinco por ciento, es decir con $\alpha/2 = 0.0025$ y con 87 grados de libertad ($\nu = n_1 + n_2 - 2 = 36 + 14 - 2 = 48$): $t_t = 1,645$.

– Comparando:

$$|t_c| \leq t_t \quad ; \quad |-1,48| \leq 1,645$$

Por lo tanto, las medias \bar{x}_1 y \bar{x}_2 son estadísticamente iguales y no se debe realizar proceso de corrección.

- **Consistencia en la Desviación Estándar**

- Se plantea la hipótesis (H): las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son iguales, es decir, $S_1^2(x) = S_2^2(x)$.
- Por otra parte, la hipótesis nula (H_0): las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son diferentes, es decir, $S_1^2(x) \neq S_2^2(x)$.

– Varianzas de ambos periodos:

$$S_1^2(x) = \left(\frac{1}{n_1-1}\right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \quad ; \quad S_1^2(x) = 2,84$$

$$S_2^2(x) = \left(\frac{1}{n_2-1}\right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \quad ; \quad S_2^2(x) = 1,72$$

Cálculo del F calculado (F_c), según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)} \quad , \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

Entonces:

$$F_c = 1,65$$

– Cálculo del F tabular (F_t), obtenido de las tablas F para una probabilidad del 95 por ciento, es decir, con un nivel de significación $\alpha = 0,05$ y grados de libertad:

$$\text{G.L.N} = n_1 - 1 = 35, \text{ G.L.D} = n_2 - 1 = 13, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

Entonces:

$$F_t = 2,36$$

– Comparando:

$$|F_c| \leq F_t \quad ; \quad 1,65 \leq 2,36$$

Por lo tanto, $S_1^2(x) = S_2^2(x)$ son iguales estadísticamente y no se debe realizar proceso de corrección.

c. Estación Hidrométrica Tamboraque

El análisis gráfico se realizó mediante los hidrogramas del registro de caudales medios diarios no regulados mostrado en el Anexo 6. Asimismo, se llevó a cabo el análisis estadístico de la serie de datos de caudales medios mensuales tal como se muestra a continuación:

c.1. Análisis estadístico de caudales medios mensuales

De manera similar a la Estación Hidrométrica Sheque, se realizó el análisis estadístico de consistencia en la media y desviación estándar de la serie de caudales medios mensuales registrados entre 1965 – 2014, considerando los periodos: $n_1 = 36$ años (desde enero de 1965, hasta diciembre de 2000) y $n_2 = 14$ años (desde enero de 2001, hasta diciembre de 2014).

- **Consistencia en la media**

- Se plantea la hipótesis (H) de que las medias de los dos periodos son iguales, es decir, $\mu_1 - \mu_2 = 0$.
- Asimismo, la hipótesis nula (H_0): $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$.

– Medias y desviaciones estándar:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad ; \quad S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad \bar{x}_1 = 12.34; S_1(x) = 2,27$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad ; \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad \bar{x}_2 = 13.44; S_2(x) = 1,97$$

– Cálculo del t calculado (t_c) según:

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad S_p = 2,18$$

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} ; S_{\bar{d}} = 0,70$$

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}} ; t_c = -1,57$$

– El t tabular (t_t) de la tabla t de Student:

$$t_t = 1,645$$

Comparando:

$$|t_c| \leq t_t ; |-1,57| \leq 1,645$$

Por lo tanto, las medias \bar{x}_1 y \bar{x}_2 son estadísticamente iguales y no se debe realizar proceso de corrección.

- **Consistencia en la Desviación Estándar**

- Se plantea la hipótesis (H): las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son iguales, es decir, $S_1^2(x) = S_2^2(x)$.
- Por otra parte, la hipótesis nula (H_0): las varianzas de ambos periodos (n_1 y n_2) son diferentes, es decir, $S_1^2(x) \neq S_2^2(x)$.

– Varianzas de ambos periodos:

$$S_1^2(x) = \left(\frac{1}{n_1-1} \right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 ; S_1^2(x) = 5,16$$

$$S_2^2(x) = \left(\frac{1}{n_2-1} \right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 ; S_2^2(x) = 3,87$$

– Cálculo del F calculado (F_c), según:

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

– Entonces:

$$F_c = 1,33$$

– Cálculo del F tabular (F_t), obtenido de las tablas F para una probabilidad del 95 por ciento, es decir, con un nivel de significación $\alpha = 0.05$ y grados de libertad:

$$\text{G.L.N} = n_1 - 1 = 35, \text{G.L.D} = n_2 - 13, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

– Entonces:

$$F_t = 2,38$$

– Comparando:

$$|F_c| \leq F_t \quad ; \quad 1,65 \leq 2,36$$

Por lo tanto, $S_1^2(x) = S_2^2(x)$ son iguales estadísticamente y no se debe realizar proceso de corrección.

4.1.2. Método del Caudal Básico de Mantenimiento

a. Estación Hidrométrica Chosica

Se determinaron los Caudales Básicos (Q_b) para el periodo 1990 – 2009 (registro de 20 años) para cada uno de los grupos de doce meses: enero – diciembre, febrero – enero, marzo – febrero, etc. Los Q_b obtenidos se muestran en la Tabla 18 y la Figura 14.

Según Palau (2004), el Q_b es un caudal constante que representa el caudal mínimo que debería circular en el cauce. En el caso de la Estación Hidrométrica Chosica, se observa que el proceso de cálculo del Q_b permite obtener diferentes caudales para cada grupo de doce meses, debido a la distinta distribución de caudales medios diarios en cada uno de estos grupos.

Sin embargo, este caudal mínimo (Q_b) no puede ser un valor constante para todo el año, sino que debe mantener la variabilidad temporal y espacial del río Rímac. Los Caudales de Mantenimiento son calculados como el producto del Q_b y el caudal medio mensual multianual de cada mes para cada periodo considerado. Estos resultados se muestran en la Tabla 19.

Tabla 18: Caudales Básicos (1990 – 2009) de la Estación Hidrométrica Chosica.

Periodo	Caudales Básicos (m^3/s)
Ene-Dic	13,13
Feb-Ene	12,85
Mar-Feb	12,83
Abr-Mar	12,83
May-Abr	12,75
Jun-May	12,43
Jul-Jun	12,40
Ago-Jul	12,36
Sep-Ago	20,86
Oct-Sep	20,94
Nov-Oct	13,69
Dic-Nov	14,13

FUENTE: Elaboración propia.

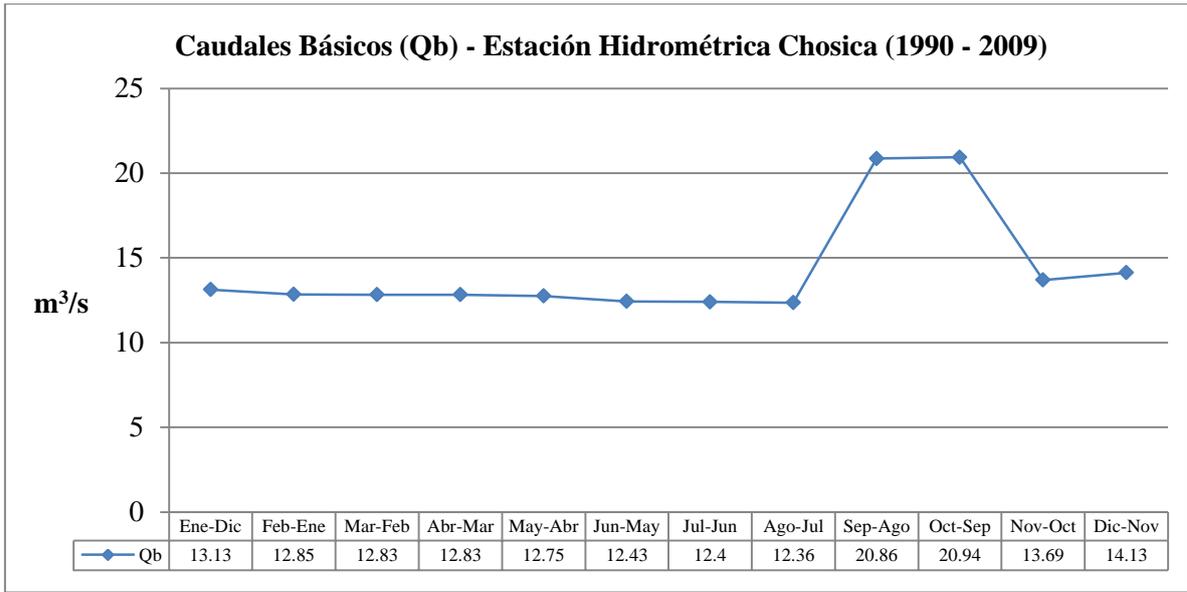


Figura 14: Caudales Básicos (1990 – 2009) de la Estación Hidrométrica Chosica.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 19: Caudales de Mantenimiento (1990 – 2009) – Estación Hidrométrica Chosica.

Caudales de Mantenimiento - Chosica, periodo 1990 – 2009												
Meses	Ene-dic	Feb-ene	Mar-feb	Abr-mar	May-abr	Jun-may	Jul-jun	Ago-jul	Sep-ago	Oct-sep	Nov-oct	Dic-nov
Enero	19,86	19,44	19,41	19,41	19,29	18,80	18,76	18,69	31,55	31,67	20,71	21,38
Febrero	23,40	22,91	22,88	22,88	22,73	22,15	22,10	22,02	37,18	37,32	24,40	25,19
Marzo	24,23	23,72	23,69	23,69	23,54	22,94	22,89	22,80	38,51	38,65	25,27	26,09
Abril	20,58	20,14	20,11	20,11	19,99	19,48	19,43	19,36	32,69	32,82	21,46	22,15
Mayo	15,40	15,07	15,05	15,05	14,96	14,57	14,54	14,49	24,46	24,56	16,06	16,57
Junio	13,53	13,25	13,23	13,23	13,15	12,81	12,78	12,74	21,51	21,59	14,11	14,57
Julio	13,15	12,87	12,85	12,85	12,77	12,45	12,42	12,37	20,89	20,97	13,71	14,15
Agosto	13,13	12,85	12,83	12,83	12,75	12,43	12,40	12,36	20,86	20,94	13,69	14,13
Septiembre	13,69	13,40	13,38	13,38	13,30	12,96	12,93	12,88	21,76	21,84	14,28	14,74
Octubre	13,92	13,63	13,61	13,61	13,52	13,18	13,15	13,10	22,12	22,21	14,52	14,99
Noviembre	14,84	14,53	14,51	14,51	14,41	14,05	14,02	13,96	23,58	23,67	15,48	15,97
Diciembre	16,51	16,16	16,14	16,14	16,03	15,63	15,59	15,53	26,23	26,33	17,21	17,77

FUENTE: Elaboración propia.

Los Regímenes de Caudales de Mantenimiento (RQm) para el periodo 1990 – 2009 se representan gráficamente en la Figura 15.

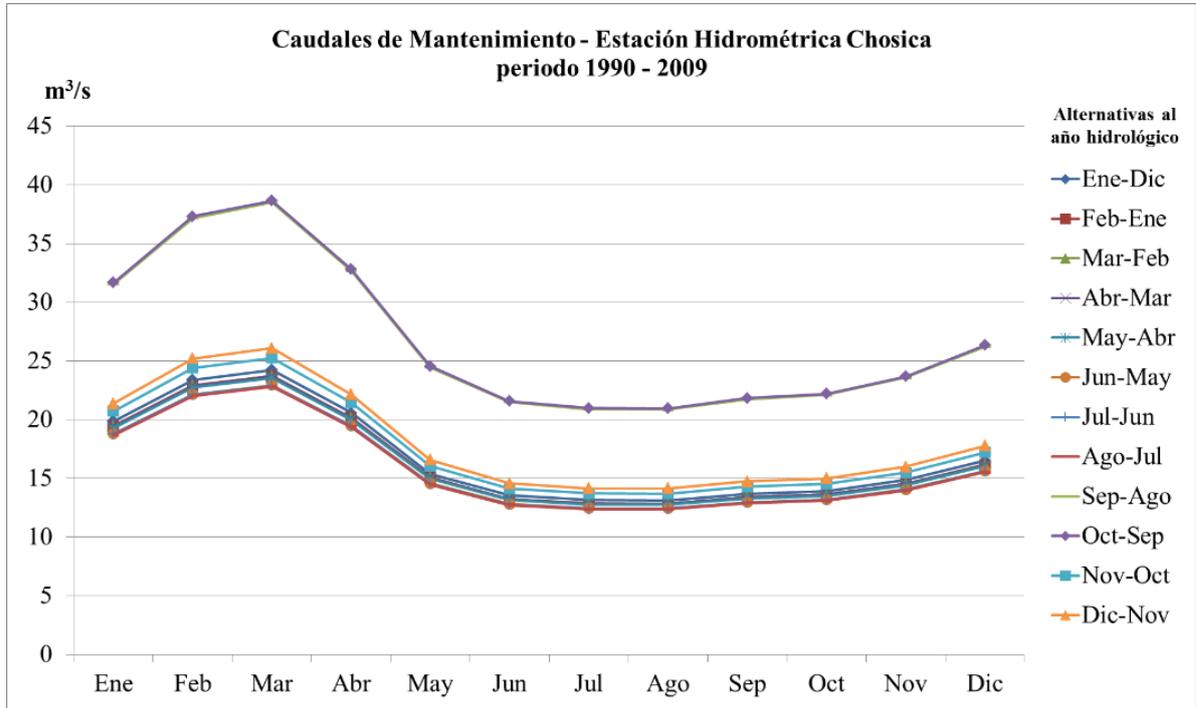


Figura 15: Caudales de Mantenimiento (1990 – 2009). Estación Hidrométrica Chosica.

FUENTE: Elaboración propia.

Se observa que los comportamientos de Caudales de Mantenimiento son similares en los tres periodos considerados y para cada grupo de doce meses: presentan temporadas seca y húmeda bien definidas de acuerdo al hidrograma natural del río.

b. Estación Hidrométrica Sheque

Se calcularon Caudales Básicos (Qb) para cada uno de los grupos de doce meses: enero – diciembre, febrero – enero, marzo – febrero, etc. Estos resultados se presentan en la Tabla 20 y Figura 16.

Los Qb calculados para la Estación Hidrométrica Sheque, presentan similar comportamiento en el periodo 1990 – 2009, debido a que se trata de un régimen natural definido, con caudales casi constantes tanto para la temporada seca, como para la temporada húmeda.

Tabla 20: Caudales Básicos (1990 – 2014) de la Estación Hidrométrica Sheque.

Periodo	Caudales Básicos (m ³ /s)
Ene-dic	0,88
Feb-ene	0,88
Mar-feb	0,88
Abr-mar	0,88
May-abr	0,88
Jun-may	0,88
Jul-jun	0,84
Ago-jul	0,84
Sep-ago	0,84
Oct-sep	0,90
Nov-oct	0,93
Dic-nov	0,99

FUENTE: Elaboración propia.

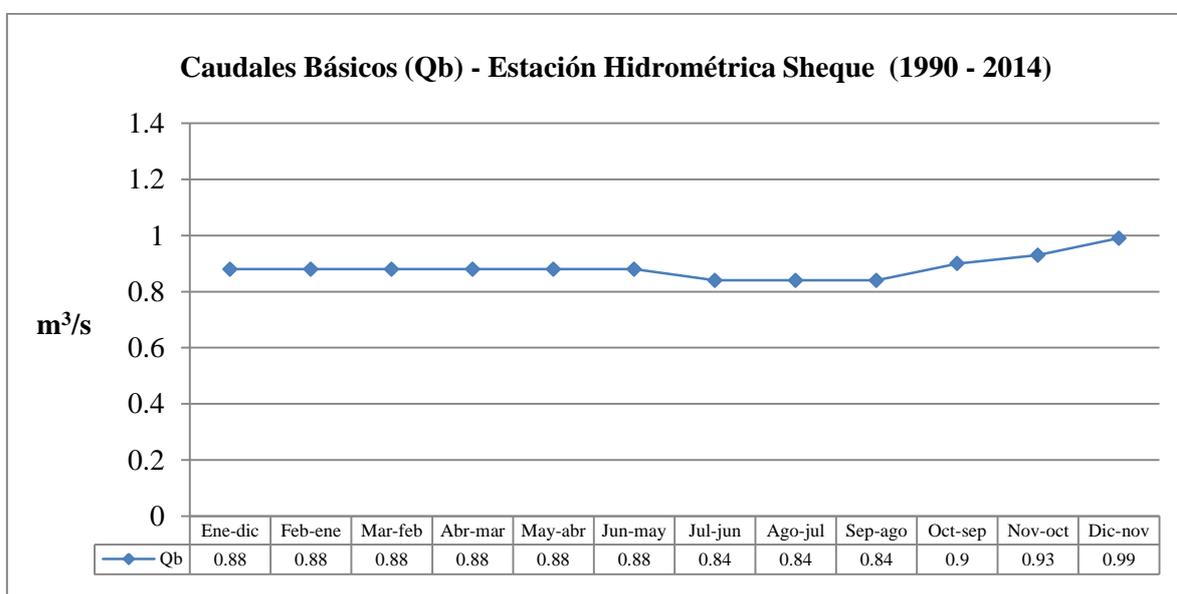


Figura 16: Caudales Básicos (1990 – 2014) de la Estación Hidrométrica Sheque.

FUENTE: Elaboración propia.

Se observa que los Qb calculados se encuentran entre 0,84 m³/s y 0,99 m³/s para los grupos de doce meses de ‘set – ago’ (año hidrológico) y ‘dic – nov’, respectivamente. Esta

variabilidad mínima de los Qb se debe a la distribución de caudales medios diarios en el río durante todo el periodo de registro, teniendo como variable principal a los caudales mínimos que resultan luego del cálculo de las medias móviles.

A partir de los Qb y de acuerdo a la variabilidad de los caudales medios mensuales, se determinaron los Caudales de Mantenimiento para la Estación Hidrométrica Sheque, los cuales son mostrados en la Tabla 21 y representados gráficamente en la Figura 17.

Los Regímenes de Caudales de Mantenimiento (RQm) para el periodo 1990 – 2014:

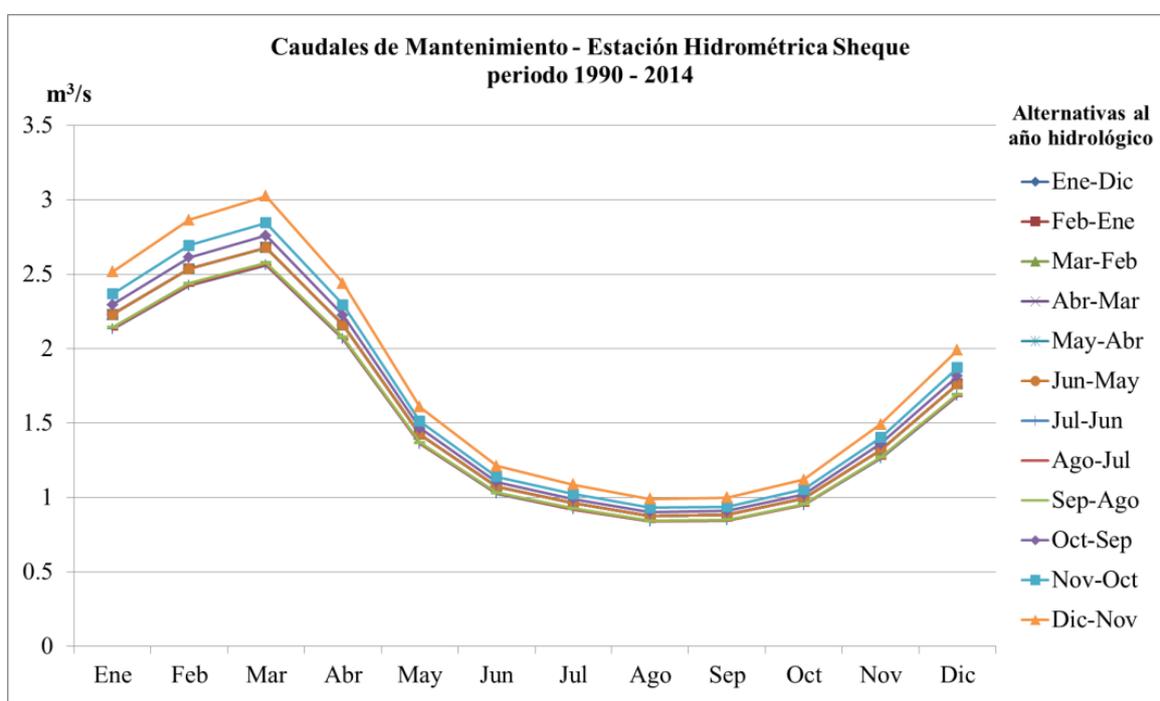


Figura 17: Caudales de Mantenimiento (1990 – 2014). Estación Hidrométrica Sheque.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 21: Caudales de Mantenimiento (1990 – 2014) – Estación Hidrométrica Sheque.

Caudales de Mantenimiento - Sheque, Periodo 1990 – 2014												
Meses	Ene-dic	Feb-ene	Mar-feb	Abr-mar	May-abr	Jun-may	Jul-jun	Ago-jul	Sep-ago	Oct-sep	Nov-oct	Dic-nov
Enero	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,13	2,13	2,14	2,30	2,37	2,52
Febrero	2,54	2,54	2,54	2,54	2,54	2,54	2,42	2,43	2,44	2,61	2,69	2,87
Marzo	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,56	2,56	2,58	2,76	2,85	3,03
Abril	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,07	2,07	2,08	2,23	2,30	2,44
Mayo	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,36	1,36	1,37	1,47	1,51	1,61
Junio	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,03	1,03	1,03	1,11	1,14	1,21
Julio	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,92	0,92	0,93	0,99	1,02	1,09
Agosto	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,84	0,84	0,84	0,90	0,93	0,99
Septiembre	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,85	0,85	0,85	0,91	0,94	1,00
Octubre	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,95	0,95	0,96	1,02	1,05	1,12
Noviembre	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,26	1,26	1,27	1,36	1,40	1,49
Diciembre	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,68	1,69	1,70	1,82	1,87	1,99

FUENTE: Elaboración propia.

c. Estación Hidrométrica Tamboraque

Los Caudales Básicos (Qb) obtenidos por el método de las medias móviles, muestran valores mayores a los de la Estación Hidrométrica Sheque, pero menores a los de la Estación Hidrométrica Chosica. En los grupos de doce meses, existe una variación mínima de Qb, entre 5,15 para ‘set – ago’ (año hidrológico), y 5,27 para ‘nov – oct’, tal como se muestra en la Tabla 22 y Figura 18.

A partir de los Qb, se calcularon los Regímenes de Caudales de Mantenimiento (RQm) para periodos considerados en la Estación Hidrométrica Tamboraque. Estos valores se muestran en la Tabla 23 y Figura 19.

Tabla 22: Caudales Básicos (1970 – 2014) de la Estación Hidrométrica Tamboraque.

Meses	Caudales Básicos (m ³ /s)
Ene-dic	5,22
Feb-ene	5,22
Mar-feb	5,22
Abr-mar	5,22
May-abr	5,22
Jun-may	5,20
Jul-jun	5,20
Ago-jul	5,19
Sep-ago	5,15
Oct-sep	5,22
Nov-oct	5,27
Dic-nov	5,25

FUENTE: Elaboración propia.

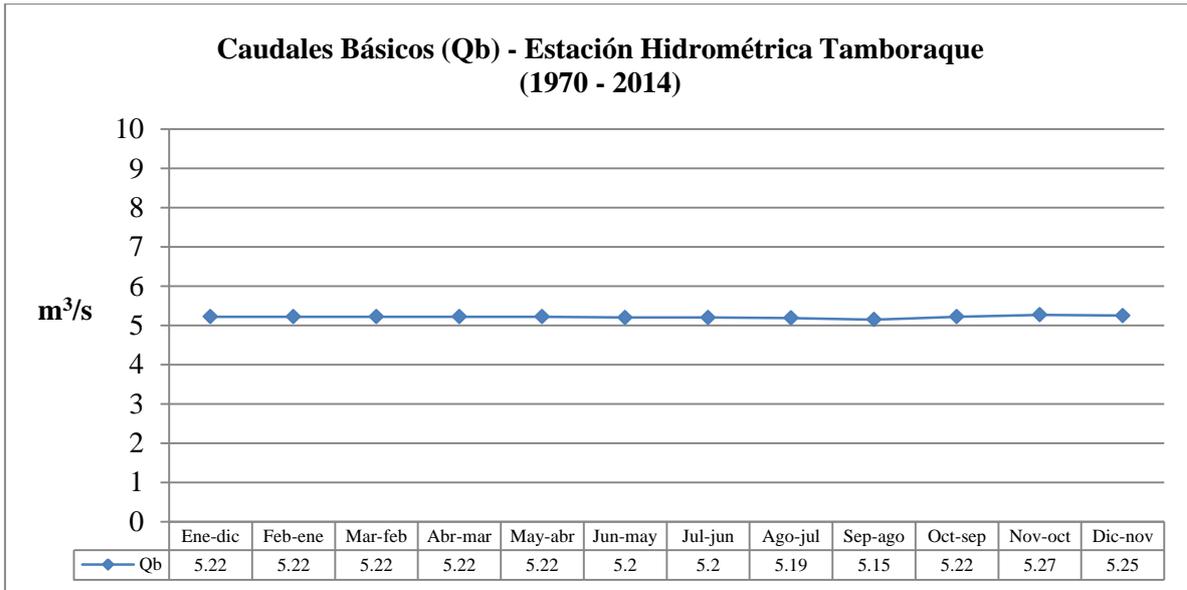


Figura 18: Caudales Básicos (1970 – 2014) de la Estación Hidrométrica Tamboraque.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 23: Caudales de Mantenimiento (1970 – 2014) – Estación Hidrométrica Tamboraque.

Caudales de Mantenimiento – Tamboraque, Periodo 1970 – 2014												
Meses	Ene-dic	Feb-ene	Mar-feb	Abr-mar	May-abr	Jun-may	Jul-jun	Ago-jul	Sep-ago	Oct-sep	Nov-oct	Dic-nov
Enero	8,82	8,82	8,82	8,82	8,82	8,79	8,79	8,77	8,7	8,83	8,91	8,88
Febrero	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,16	10,16	10,14	10,06	10,21	10,31	10,27
Marzo	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,52	10,52	10,5	10,41	10,57	10,67	10,63
Abril	8,93	8,93	8,93	8,93	8,93	8,89	8,89	8,88	8,8	8,93	9,02	8,98
Mayo	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,07	7,07	7,06	7	7,1	7,17	7,14
Junio	6,14	6,14	6,14	6,14	6,14	6,12	6,12	6,11	6,06	6,15	6,2	6,18
Julio	5,53	5,53	5,53	5,53	5,53	5,51	5,51	5,49	5,45	5,53	5,58	5,56
Agosto	5,22	5,22	5,22	5,22	5,22	5,2	5,2	5,19	5,15	5,22	5,27	5,25
Septiembre	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,23	5,23	5,22	5,18	5,25	5,3	5,28
Octubre	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	5,57	5,57	5,55	5,51	5,59	5,64	5,62
Noviembre	6,13	6,13	6,13	6,13	6,13	6,11	6,11	6,1	6,05	6,14	6,19	6,17
Diciembre	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,23	7,23	7,22	7,16	7,27	7,33	7,31

FUENTE: Elaboración propia.

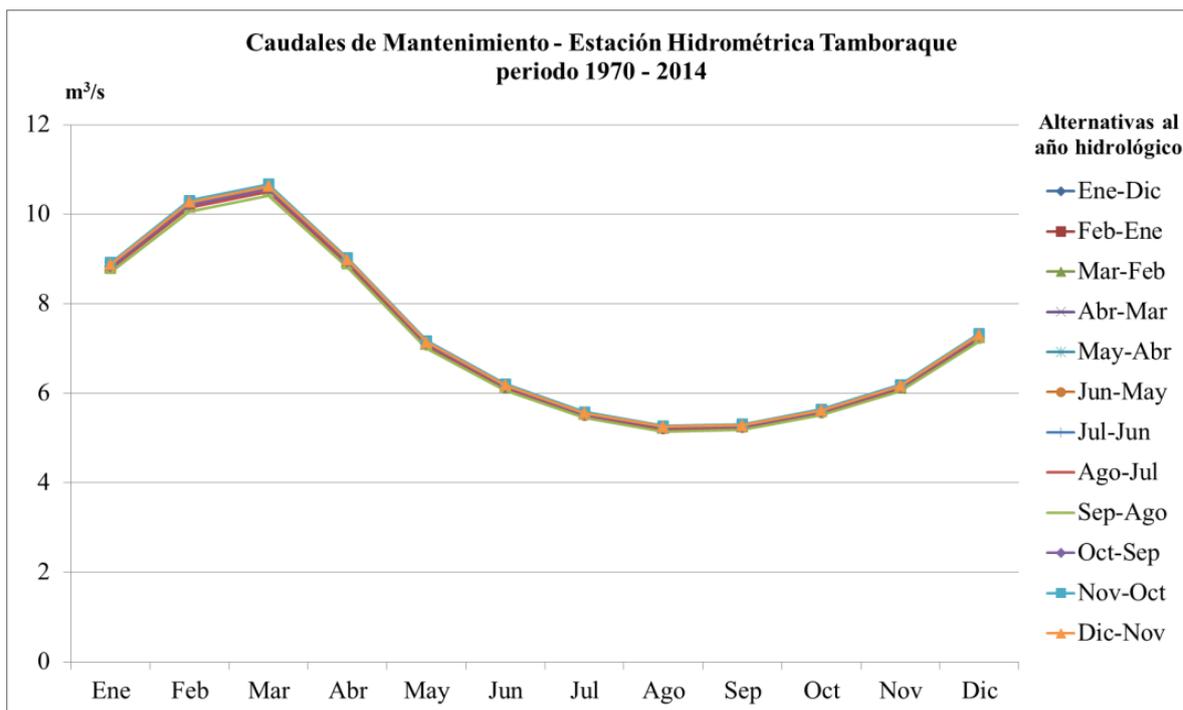


Figura 19: Caudales de Mantenimiento (1970 – 2014). Estación Hidrométrica Tamboraque.

FUENTE: Elaboración propia.

4.1.3. Caudal Ecológico Referencial (CER)

a. Estación Hidrométrica Chosica

Se calculó el Régimen de Caudales Ecológicos Referenciales (CER) siguiendo la metodología estadística propuesta por la Autoridad Nacional del Agua (Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA), a partir de los caudales medios mensuales con una persistencia del noventa y cinco por ciento para el periodo de registro comprendido entre 1990 – 2009 (20 años), tal como se consideró en el proceso de cálculo del método del Caudal Básico de Mantenimiento (ver cálculo en el Anexo 7).

Adicionalmente, se presentan los caudales al 95 por ciento de persistencia, calculados por ANA (2010) para el registro histórico de caudales medios mensuales comprendidos entre 1921 – 2009, en la Estación Hidrométrica Chosica. Estos resultados son presentados en la Tabla 24.

Tabla 24: CER (1990 – 2009) y Caudales con 95 por ciento de persistencia para el periodo 1921 – 2009 (ANA, 2010) – Estación Hidrométrica Chosica.

Mes	CER (1990-2009)	ANA, 2010 (1921-2009)
Enero	18,53	16,80
Febrero	14,13	22,22
Marzo	19,66	31,03
Abril	14,52	16,89
Mayo	10,7	12,21
Junio	9,99	8,14
Julio	8,85	7,52
Agosto	9,47	7,87
Setiembre	9,34	8,92
Octubre	11,81	9,99
Noviembre	12,88	9,88
Diciembre	13,57	11,97

FUENTE: ANA, 2010.

b. Estación Hidrométrica Sheque

Al igual que en la estación Chosica, se determinaron los caudales con una persistencia del 95 por ciento para el periodo 1990 – 2014 (ver cálculo en el Anexo 8). Estos resultados con comparados con los caudales calculados por ANA (2010) para el registro histórico de caudales medios mensuales comprendido entre 1965 – 2009 con una persistencia del 95 por ciento, en la Estación Hidrométrica Sheque, tal como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25: CER (1990 – 2014) y Caudales con 95 por ciento de persistencia para el periodo 1965 – 2009 (ANA, 2010) – Estación Hidrométrica Sheque.

Mes	CER (1990-2014)	ANA, 2010 (1965-2009)
Enero	3,55	3,41
Febrero	3,98	4,32
Marzo	5,82	8,07
Abril	3,69	4,82
Mayo	1,41	2,94
Junio	0,78	1,99
Julio	0,40	1,60
Agosto	0,63	1,28
Setiembre	0,08	1,05
Octubre	0,50	1,46
Noviembre	0,89	1,55
Diciembre	1,11	2,31

FUENTE: ANA, 2010.

c. Estación Hidrométrica Tamboraque

Se calcularon los caudales con una persistencia del 95 por ciento para el periodo 1970 – 2014 (ver cálculo de probabilidades en el Anexo 9). Asimismo, en la Tabla 26 se presentan los caudales calculados por ANA (2010) para el registro histórico de caudales medios mensuales comprendido entre 1965 – 2009 con una persistencia del 95 por ciento, en la Estación Hidrométrica Tamboraque.

Tabla 26: CER (1970 – 2014) y Caudales con 95 por ciento de persistencia para el periodo 1965 – 2009 (ANA, 2010) – Estación Hidrométrica Tamboraque.

Mes	CER (1970-2014)	ANA, 2010 (1965-2009)
Enero	10,46	8,81
Febrero	11,31	8,87
Marzo	14,19	12,62
Abril	10,17	8,74

Continuación.

Mayo	8,00	7,03
Junio	6,66	6,17
Julio	5,28	5,11
Agosto	5,08	4,31
Setiembre	5,10	4,31
Octubre	5,91	5,00
Noviembre	6,42	5,82
Diciembre	7,36	7,00

FUENTE: ANA, 2010.

4.1.4. Calidad del Agua Superficial

Se recopilaron los resultados de monitoreo de agua superficial más recientes disponible en cada una de las estaciones mostradas en la Tabla 14, tomadas como puntos de interés para el análisis de calidad ambiental del agua debido su cercanía a las estaciones hidrométricas de donde se obtuvieron los registros de caudales medios diarios.

a. Estación E-14

Se ubica aproximadamente a 900 metros aguas arriba de la Estación Hidrométrica Chosica. Durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y agosto del año 2011, la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA, realizó monitoreos de la calidad del agua en este punto; se trata de los monitoreos más recientes de los cuales se tiene información disponible. Los resultados se muestran en la Tabla 27.

b. Estación E-08

Se ubica a 50 metros aguas arriba de la Estación Hidrométrica Tamboraque y se monitoreó la calidad del agua superficial en este punto en el mismo periodo que la estación E-14, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 28.

Tabla 27: Resultados de Monitoreo de Calidad del Agua – Estación E-14.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1, Subcategoría A2				2011						
Parámetros	Unidad	D.S. N° 002-2008-MINAM	D.S. N° 015-2015-MINAM	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ago
pH	Unidad	5.5-9	5.5-9	8,81	8,74	8,89	9,45	-	-	8,21
Temperatura	°C	-	Δ3	15,97	16,65	17,4	16,9	17,9	18,42	20,36
Conductividad Electrica	μS/cm	1600	1600	349	314	403	395	601	737	729
Turbiedad	UNT	100	100	1205	426	129	87,2	28,3	13,5	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	9,32	9,28	8,62	5,11	6,42	3,61	6,02
Aceites y Grasas	mg/L	1	1.7	1,3	3,7	<1	<1	1,5	4,9	<1
TPH	mg/L	0.2	0.2	-	-	<0,005	-	-	-	-
Nitritos	mg/L	1	3	0,007	0,007	0,016	0,004	0,012	0,017	0,05
Nitratos	mg/L	10	50	0,602	0,431	0,476	0,533	0,709	1,117	1,329
Cloruros	mg/L	250	250	15,3	8,2	11,2	11,3	21,8	24,5	25,4
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	20	20	15	43	27	11	<5	<5	8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5	5	3,3	<2	3,9	3,9	<2	6,3	3,6
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000	-	544	-	257	260	402	536	509

Continuación.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1, Subcategoría A2				2011						
Parámetros	Unidad	D.S. N° 002-2008-MINAM	D.S. N° 015-2015-MINAM	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ago
Aluminio	mg/L	0.2	5	2,532	8,095	3,654	1,871	0,959	0,049	0,322
Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0,037	0,072	0,018	0,023	0,038	0,005	0,025
Cadmio	mg/L	0.003	0.005	0,014	<0,010	<0,01	<0,01	<0,010	<0,01	<0,01
Cobre	mg/L	2	2	0,246	0,109	0,061	0,061	0,057	0,014	<0,01
Cromo	mg/L	0.05	0.05	<0,028	<0,028	<0,028	<0,028	<0,028	<0,028	<0,028
Hierro	mg/L	1	1	61,35	15,9	4,84	3,16	0,867	0,222	0,067
Manganeso	mg/L	0.4	0.4	1,81	0,694	0,287	0,239	0,154	0,033	<0,013
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0,434	0,121	0,05	0,03	0,033	<0,025	<0,025
Zinc	mg/L	5	5	2,58	0,499	0,67	0,595	0,582	0,164	0,046
Coliformes Totales	NMP/100mL	3000	5000	1800	920000	1800	24000	24000	7900	350000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	2000	2000	1800	540000	1800	24000	24000	3300	170000

FUENTE: Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Tabla 28: Resultados de Monitoreo de Calidad del Agua – Estación E-08.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1, Subcategoría A2				2011						
Parámetros	Unidad	D.S. N° 002-2008-MINAM	D.S. N° 015-2015-MINAM	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Junio	Agosto
pH	Unidad	5,5-9	5,5-9	8,82	8,6	9	9,45	8,11	-	7,96
Temperatura	°C	-	Δ3	13,3	11,74	13,1	13,24	12,88	15,97	16,32
Conductividad Eléctrica	μS/cm	1600	1600	444	166	470	568	297	905	893
Turbiedad	UNT	100	100	243	53	52,4	49,6	10,3	11,2	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	9,81	8	7,53	3,41	6,1	5,81	5,84
Aceites y Grasas	mg/L	1	1,7	1	1	1	1	1	3,1	1
TPH	mg/L	0,2	0,2	<0,05	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	-	-
Cianuro Wad	mg/L	0,08	-	<0,003	<0,003	<0,003	0,0036	-	<0,003	<0,003
Nitritos	mg/L	1	3	0,005	0,016	0,006	0,006	0,002	0,012	0,008
Nitratos	mg/L	10	50	0,414	0,503	0,369	0,417	0,322	0,289	0,469
Cloruros	mg/L	250	250	4,59	15,3	15,3	21,2	33,1	33,7	32,2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	20	20	26	19	8	<5	36	7	<5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5	5	2,3	2	<2	<2	<2	4,6	2,6

Continuación.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1, Subcategoría A2				2011						
Parámetros	Unidad	D.S. N° 002-2008-MINAM	D.S. N° 015-2015-MINAM	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Junio	Agosto
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000	-	417	-	308	378	567	663	643
Aluminio	mg/L	0,2	5	3,692	3,572	1,383	1,471	0,231	0,167	<0,05
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,045	0,036	0,029	0,057	0,058	0,042	0,015
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,012	0,011	0,01	0,014	0,016	0,01	0,01
Cobre	mg/L	2	2	0,199	0,152	0,093	0,125	0,156	0,076	0,036
Cromo	mg/L	0,05	0,05	<0,028	<0,028	<0,028	<0,028	<0,028	<0,028	<0,028
Hierro	mg/L	1	1	5,46	6,14	1,67	2,66	0,861	0,505	0,239
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,658	0,728	0,394	0,504	0,579	0,249	0,013
Plomo	mg/L	0,05	0,05	0,169	0,052	0,031	0,056	0,052	0,027	<0,025
Zinc	mg/L	5	5	1,75	1,82	1,26	1,59	1,91	1,28	0,767
Coliformes Totales	NMP/100mL	3000	5000	0	600	24	116	216	160	34
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	2000	2000	0	100	24	56	184	0	10

FUENTE: Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

c. Estación RArur-2

Se ubica en río Aruri, antes de la afluencia con el río Rímac, a 200 metros de la Estación Hidrométrica Tamboraque. Los resultados de los mencionados monitoreos se muestran en la siguiente Tabla 29.

Tabla 29: Resultados de Monitoreo de Calidad del Agua – Estación RArur-2.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1, Subcategoría A2				2012
Parámetros	Unidad	D.S. N° 002-2008-MINAM	D.S. N° 015-2015-MINAM	Abril
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	7,2
pH	Unidad	5,5-9	5,5-9	7,9
Temperatura	°C	-	Δ3	13,5
Conductividad	μS/cm	1 600	1 600	163,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	2 000	2 000	22
Aceites y grasas	mg/L	1	1,7	<1,7
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5	5	<6
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	20	20	<9
Nitrógeno amoniacal (N-NH3)	mg/L	2	1.5	0,011
Nitratos (N-NO3)	mg/L	10	50	0,726
Fósforo total	mg/L	0,15	0,15	0,109
Cianuro WAD	mg/L	0,08	-	<0,002
Aluminio total	mg/L	0,2	5	2,34
Arsénico total	mg/L	0,01	0,01	0,169
Bario total	mg/L	0,7	1	0,04
Berilio total	mg/L	0,04	0,04	<0,0003
Boro total	mg/L	0,5	2.4	<0,03
Cadmio total	mg/L	0,003	0,005	0,0076
Cobre total	mg/L	2	2	0,138
Cromo Hexavalente	mg/L	0,05	-	<0,005
Cromo total	mg/L	0,05	0,05	<0,006

Continuación.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1, Subcategoría A2				2012
Parámetros	Unidad	D.S. N° 002-2008-MINAM	D.S. N° 015-2015-MINAM	Abril
Hierro total	mg/L	1	1	4,916
Manganeso total	mg/L	0,4	0,4	0,4026
Mercurio total	mg/L	0,002	0,002	<0,0001
Níquel total	mg/L	0,025	-	<0,003
Plata total	mg/L	0,05	-	<0,0006
Plomo total	mg/L	0,05	0,05	0,0399
Selenio total	mg/L	0,05	0,04	<0,005
Uranio total	mg/L	0,02	0,02	<0,00012
Vanadio total	mg/L	0,1	-	<0,006
Zinc total	mg/L	5	5	1,273

FUENTE: Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

4.1.5. Caudal calculado para el cumplimiento de Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Q_{ECA})

Según mencionado en el ítem 3.2.5, se analizaron las concentraciones de los parámetros en el río y se realizaron los siguientes cálculos:

a. Estación E-14

Los parámetros que superan, al menos una vez, los ECA en la estación E-14 entre los meses de enero y agosto, son: Turbiedad, Aceites y grasas, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Aluminio, Arsénico, Cadmio, Hierro, Manganeso, Plomo, Coliformes Totales y Termotolerantes.

Los caudales medios mensuales multianuales registrados entre los años 1921 – 2009 en la Estación Hidrométrica Chosica, ubicado aproximadamente a 900 metros de la Estación E-14, se muestran a continuación en la Tabla 30.

Tabla 30: Caudales medios mensuales multianuales (Qmm) – Estación Hidrométrica Chosica, periodo 1921 – 2009.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Qmm (m ³ /s)	36,81	56,21	66,43	39,13	21,15	14,83	13,12	12,96	13,82	14,49	16,46	22,57

FUENTE: ANA, 2010.

Las cargas másicas de los contaminantes calculados se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31: Cargas másicas contaminantes – Estación Hidrométrica Chosica

Parámetros	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ago
Aceites y Grasas	g/s	47,85	207,96	66,43	39,13	31,72	72,65	12,96
DQO	g/s	552,14	2416,88	1793,69	430,46	105,73	74,13	103,65
DBO	g/s	121,47	112,41	259,09	152,62	42,29	93,40	46,64
Aluminio	g/s	93,20	454,88	242,75	73,22	20,28	0,73	4,17
Arsénico	g/s	1,36	4,05	1,20	0,90	0,80	0,07	0,32
Cadmio	g/s	0,52	0,56	0,66	0,39	0,21	0,15	0,13
Hierro	g/s	2258,27	893,68	321,54	123,66	18,33	3,29	0,87
Manganeso	g/s	66,66	39,01	19,07	9,35	3,26	0,49	0,17
Plomo	g/s	15,98	6,80	3,32	1,17	0,70	0,37	0,32
Coliformes Totales	NMP/s	6,63*10 ⁸	5,17*10 ¹¹	1,2*10 ⁹	9,39*10 ⁹	5,08*10 ⁹	1,17*10 ⁹	4,54*10 ¹⁰
Coliformes Termotolerantes	NMP/s	6,63*10 ⁸	3,04*10 ¹¹	1,2*10 ⁹	9,39*10 ⁹	5,08*10 ⁹	4,89*10 ⁸	2,2*10 ¹⁰

FUENTE: Elaboración propia.

Se utilizaron los valores de cargas másicas de los parámetros que exceden los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA) al menos una vez en los meses monitoreados, para calcular los caudales que deberían escurrir en el río de tal forma la concentración de éstos sean menores que los ECA.

Se obtuvieron distintos caudales para cada parámetro en cada mes, de los cuales el mayor de ellos asegura el cumplimiento de los ECA de todos los parámetros (Q_{ECA}). En la Tabla 32 se muestran dichos caudales.

Tabla 32: Caudales de cumplimiento de los ECA (m^3/s) según cargas máxicas (Q_{ECA}).

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ago
Aceites y Grasas	47,85	207,96	66,43	39,13	31,72	72,65	12,96
DQO	27,61	120,84	89,68	21,52	5,29	3,71	5,18
DBO	24,29	22,48	51,82	30,52	8,46	18,68	9,33
Aluminio	466,01	2274,40	1213,73	366,08	101,39	3,63	20,86
Arsénico	136,20	404,69	119,58	90,00	80,35	7,41	32,39
Cadmio	171,78	187,36	221,44	130,44	70,48	49,42	43,19
Hierro	2258,27	893,68	321,54	123,66	18,33	3,29	0,87
Manganeso	166,66	97,52	47,67	23,38	8,14	1,22	0,42
Plomo	319,51	136,02	66,43	23,48	13,96	7,41	6,48
Coliformes Totales	22,09	17236,66	39,86	313,06	169,16	39,04	1511,61
Coliformes Termotolerantes	33,13	15175,76	59,79	469,59	253,74	24,46	1101,32
Qmm (m^3/s) E-14	36,81	56,21	66,43	39,13	21,15	14,83	12,96
Caudal calculado para cumplimiento de los ECA (Q_{ECA}).	2258,27	17236,66	1213,73	469,59	253,74	72,65	1511,61

FUENTE: Elaboración propia.

b. Estación E-08

Los parámetros que superan, al menos una vez, los ECA en la estación E-08 entre los meses de enero y agosto son: Turbiedad, Aceites y grasas, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Aluminio, Arsénico, Cadmio, Hierro, Manganeso, Plomo, Coliformes Totales y Termotolerantes.

Los caudales medios mensuales multianuales registrados entre los años 1970 – 2014 en la Estación Hidrométrica Tamboraque, ubicado aproximadamente a 50 metros de la estación E-08, se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33: Caudales medios mensuales multianuales (Qmm) – Estación Hidrométrica Tamboraque, periodo 1970 – 2014.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Qmm (m ³ /s)	17,02	23,17	24,84	17,49	11,20	8,56	6,89	6,09	6,15	6,99	8,36	11,80

FUENTE: ANA, 2010; SENAMI, 2015.

Las cargas másicas de los contaminantes mencionados se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34: Cargas másicas contaminantes – Estación Hidrométrica Tamboraque

Parámetros	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ago
Aceites y Grasas	g/s	17,02	23,17	24,84	17,49	11,20	26,54	6,09
DQO	g/s	442,42	440,22	198,76	87,43	403,23	59,92	30,43
Aluminio	g/s	62,82	82,76	34,36	25,72	2,59	1,43	0,30
Arsénico	g/s	0,77	0,83	0,72	1,00	0,65	0,36	0,09
Cadmio	g/s	0,20	0,25	0,25	0,24	0,18	0,09	0,06
Hierro	g/s	92,91	142,26	41,49	46,51	9,64	4,32	1,45
Manganeso	g/s	11,20	16,87	9,79	8,81	6,49	2,13	0,08
Plomo	g/s	2,88	1,20	0,77	0,98	0,58	0,23	0,15

FUENTE: Elaboración propia.

Al igual que en la Estación E-14, se calcularon los caudales que deben escurrir en la Estación Hidrométrica Tamboraque, próxima a la Estación E-08, dadas las cargas másicas de los contaminantes mencionados. Estos valores se presentan en la Tabla 35.

Tabla 35: Caudales de cumplimiento de los ECA (m³/s) según cargas máxicas (Q_{ECA}).

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ago
Aceites y Grasas	17,02	23,17	24,84	17,49	11,20	26,54	6,09
DQO	22,12	22,01	9,94	4,37	20,16	3,00	1,52
Aluminio	314,12	413,81	171,80	128,61	12,94	7,15	1,52
Arsénico	76,57	83,41	72,05	99,67	64,96	35,95	9,13
Cadmio	68,06	84,95	82,82	81,60	59,74	28,53	20,29
Hierro	92,91	142,26	41,49	46,51	9,64	4,32	1,45
Manganeso	27,99	42,17	24,47	22,03	16,21	5,33	0,20
Plomo	57,51	24,10	15,40	19,58	11,65	4,62	3,04
Qmm (m ³ /s) E-08	17,02	23,17	24,84	17,49	11,20	8,56	6,09
Caudal calculado para cumplimiento de los ECA (Q _{ECA}).	314,12	413,81	171,80	128,61	64,96	35,95	20,29

FUENTE: Elaboración propia.

4.2. DISCUSIONES

4.2.1. Análisis de la información existente

a. Estación Hidrométrica Chosica

- Se cuenta con un registro histórico muy amplio de información de caudales medios mensuales (1921 – 2009), caudales medios diarios (CMD) no regulados (1970 – 2009), que permite que los resultados sean representativos.
- Del análisis gráfico de los hidrogramas de caudales medios diarios (CMD) no regulados, se observó que estos presentan una variación estacional, siendo los meses de diciembre a mayo los que presentan mayores valores (época húmeda), mientras que durante el resto del año presentan valores bajos de caudal. Este comportamiento estacional, tiene suma importancia en el cálculo del Caudal Básico de Mantenimiento debido a que la serie de Caudales Ecológicos está definido por las características de la serie original de partida.

- La serie de datos cumple con los parámetros estadísticos determinados en los análisis de consistencia (en la media y en la desviación estándar) para los tamaños de muestra n_1 : 1921 – 1965 y n_2 : 1966 – 2009. Para la consistencia en la media se obtuvo un valor de $t_c = 1,607$ menor al $t_t = 1,645$ ($|t_c| \leq t_t$). Asimismo, el análisis de consistencia en la desviación estándar arrojó un valor de $F_c = 1,615$, menor al $F_t = 1,690$ ($|F_c| \leq F_t$), concluyendo que la serie de histórica de caudales de la Estación Hidrométrica Chosica (1921 – 2009) es consistente y no necesita corrección.

b. Estación Hidrométrica Sheque

- Se cuenta con un registro histórico amplio de información hidrológica (1970 – 2014) que permite que los resultados sean representativos.
- El análisis gráfico de los hidrogramas de Caudales Medios Diarios (CMD) para el periodo en mención muestra una variación estacional de dichos caudales, siendo los meses de diciembre a mayo los que presentan mayores valores (época húmeda); mientras que durante el resto del año se observa la disminución de los caudales.
- El análisis de histogramas de caudales medios diarios no regulados, permitieron identificar errores puntuales en algunos valores de caudal excesivamente mayores o menores que el inmediato valor anterior o siguiente. Estos errores, al igual que los casos de ausencia de datos, se corrigieron y/o completaron estos valores con el promedio aritmético de los valores inmediatamente anterior y superior.
- La serie de datos cumple con los parámetros estadísticos determinados en los análisis de consistencia (en la media y en la desviación estándar) para los tamaños de muestra n_1 : 1965 – 2000 y n_2 : 2001 – 2014. Para la consistencia en la media se obtuvo un valor de $t_c = -1,48$ menor al $t_t = 1,645$ ($|t_c| \leq t_t$). Asimismo, el análisis de consistencia en la desviación estándar arrojó un valor de $F_c = 1,65$, menor al $F_t = 2,36$ ($|F_c| \leq F_t$), concluyendo que la serie de histórica de caudales de la Estación Hidrométrica Sheque (1965 – 2014) es consistente y no necesita corrección.

c. Estación Hidrométrica Tamboraque

- El análisis de información fue realizado de la misma manera similar al de la estación Sheque. Los análisis de consistencia (en la media y en la desviación estándar) para los

tamaños de muestra n_1 : 1970 – 2000 y n_2 : 2001 – 2014. Para la consistencia en la media se obtuvo un valor de $t_c = -1,57$ menor al $t_t = 1,645$ ($|t_c| \leq t_t$). Asimismo, el análisis de consistencia en la desviación estándar arrojó un valor de $F_c = 1,65$, menor al $F_t = 2,36$ ($|F_c| \leq F_t$), concluyendo que la serie de histórica de caudales de la Estación Hidrométrica Tamboraque (1970 – 2014) es consistente y no necesita corrección.

4.2.2. El Método del Caudal Básico de Mantenimiento

a. Estación Hidrométrica Chosica

- Los Caudales Básicos (Qb) obtenidos con los datos del periodo 1990 – 2009, varían de acuerdo al grupo de doce meses considerado, entre 20,94 m³/s del grupo ‘octubre – setiembre’ y 12,36 m³/s del grupo ‘agosto – julio’, tal como se muestra en la Tabla 36.

Tabla 36: Qb máximos y mínimos – Estación Hidrométrica Chosica.

Periodo	Valor de Caudal Básico (Qb) – Estación Hidrométrica Chosica	
	Máximo	Mínimo
1990 – 2009	Octubre – setiembre	Agosto – julio

FUENTE: Elaboración propia.

- Los Regímenes Caudales de Mantenimiento (RQm) en la Estación Chosica, calculados a partir de los Qb y el factor de variabilidad temporal, presentan la misma tendencia en todos los grupos de doce meses. el RQm con mayores caudales se obtuvo en el grupo ‘octubre – setiembre’, con valores que se encuentran entre 20,94 m³/s (en el mes de agosto) y 38,65 m³/s (mes de marzo). Por otro lado, el RQm con los valores menores entre los doce grupos es el de ‘agosto – julio’, con un caudal máximo obtenido para el mes de marzo (22,80 m³/s), y caudal mínimo en agosto (12,36 m³/s).
- En la Tabla 37, se presentan los RQm máximos y mínimos calculados con el periodo de registro 1990 – 2009 de la Estación Hidrométrica Chosica.

Tabla 37: Regímenes de Caudales de Mantenimiento (RQm) obtenidos para la Estación Hidrométrica Chosica.

Periodo	Régimen de Caudales de Mantenimiento (RQm) - Estación Hidrométrica Chosica	
	Máximo	Mínimo
1990 – 2009	Octubre – setiembre	Agosto – julio

FUENTE: Elaboración propia.

b. Estación Hidrométrica Sheque

- En la Estación Hidrométrica Sheque los Caudales Básicos (Qb) obtenidos presentan una tendencia uniforme para todos los grupos de doce meses, es decir, se observa escasa variabilidad en los resultados. El mayor Qb calculado corresponde al grupo ‘diciembre – noviembre’, con $0,99 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que en los grupos ‘julio – junio’, ‘agosto – julio’ y ‘setiembre – agosto’ se determinó el Qb mínimo de $0,84 \text{ m}^3/\text{s}$. En la Tabla 38, se presentan los grupos de doce meses donde se obtuvieron los Qb máximos y mínimos para el periodo 1990 – 2014.

Tabla 38: Qb máximos y mínimos – Estación Hidrométrica Sheque.

Periodo	Valor de Caudal Básico (Qb) – Estación Hidrométrica Sheque	
	Máximo	Mínimo
1990 – 2014	Diciembre – noviembre	Julio – junio Agosto – julio Setiembre – agosto

FUENTE: Elaboración propia.

- Según los resultados obtenidos para 1990 – 2014, mostrados en la Tabla 21, los RQm de los grupos de doce meses tienen la misma tendencia a lo largo del año, con valores máximos en el grupo ‘diciembre – noviembre’, y los mínimos en ‘julio – junio’. En el primer caso, se obtuvo un caudal máximo en el mes de marzo ($3,03 \text{ m}^3/\text{s}$) y un caudal mínimo en agosto ($0,99 \text{ m}^3/\text{s}$). En el grupo de mínimos, el caudal mayor se presenta

también en el mes de marzo (2,56 m³/s) y el menor en agosto (0,84 m³/s), tal como se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39: Regímenes de Caudales de Mantenimiento obtenidos para la Estación Hidrométrica Sheque.

Periodo	Régimen de Caudales de Mantenimiento (Qm) - Estación Hidrométrica Sheque	
	Máximo	Mínimo
1990 – 2014	Diciembre – noviembre	Julio – junio

FUENTE: Elaboración propia.

c. Estación Hidrométrica Tamboraque

- Los Caudales Básicos (Qb) obtenidos con los datos de caudales medios diarios del periodo 1970 – 2014, son uniformes para todos los grupos de doce meses, presentando escasa o casi nula variación: 5,27 m³/s en el grupo ‘noviembre – octubre’, y 5,15 m³/s para ‘setiembre – agosto’. En la Tabla 40, se precisan los grupos de doce meses donde se presentan los Qb máximo y mínimo.

Tabla 40: Qb máximos y mínimos – Estación Hidrométrica Tamboraque.

Periodo	Valor de Caudal Básico (Qb) – Estación Hidrométrica Tamboraque	
	Máximo	Mínimo
1970 – 2014	Noviembre – octubre	Setiembre – agosto

FUENTE: Elaboración propia.

- Los RQm en el periodo 1970 – 2014 (ver Figura 19), estos presentan valores muy similares en todos los grupos de doce meses. El RQm con mayores caudales es el grupo ‘noviembre – octubre’, y los mínimos en ‘setiembre – agosto’ (tal como se muestra en la Tabla 41). En ambos grupos, se calcularon los Qm máximos en el mes de marzo (10,67 m³/s y 10,41 m³/s, respectivamente) y los Qm mínimos, en el mes de setiembre (5,27 m³/s y 5,15 m³/s, respectivamente).

Tabla 41: Regímenes de Caudales de Mantenimiento obtenidos para la Estación Hidrométrica Tamboraque.

Periodo	Régimen de Caudales de Mantenimiento (QM) - Estación Hidrométrica Tamboraque	
	Máximo	Mínimo
1970 – 2014	Noviembre – octubre	Setiembre – agosto

FUENTE: Elaboración propia.

La propuesta del autor de la presente investigación al Método del Caudal Básico de Mantenimiento es que, luego de obtener todas las posibles variantes de Regímenes de Caudales Básicos (Qb) y Regímenes de Caudales de Mantenimiento (RQm) según se agrupen los doce meses en cada uno de los tres periodos de estudio, se debe considerar el menor Régimen de Caudales de Mantenimiento como Caudal Ecológico del tramo en estudio. Por lo tanto, los Regímenes de Caudales Ecológicos (RQeco) de los tramos donde se ubican las tres estaciones hidrométricas en estudio se muestran en la Tabla 42.

Tabla 42: Grupos de meses que representan el Caudal Ecológico

Estación	Régimen de Caudales de Mantenimiento (Qm)	
	Periodo	Grupo de meses representativos del Caudal Ecológico
E.H. Chosica	1990 – 2009	Agosto – julio
E.H. Sheque	1990 – 2014	Julio – junio
E.H. Tamboraque	1970 – 2014	Setiembre – agosto

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.3. El Caudal Ecológico Referencial (CER)

a. Estación Hidrométrica Chosica

Para el cálculo de los Caudales Ecológicos Referenciales, se siguió la metodología estadística propuesta en la Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA del caudal al 95 por

ciento de persistencia (CER95). Estos resultados son comparados con el Régimen de Caudales de Mantenimiento (RQm) de la Estación Hidrométrica Chosica para el periodo 1990 – 2009, y los caudales determinados por ANA (2010) para el registro 1921-2009.

Los regímenes de caudales calculados muestran similar comportamiento hidrológico, donde los mayores valores se registraron en el mes de marzo para ‘RQm (ago-jul)’, ‘CER95’ y caudales calculados por ANA (2010) con 22,80 m³/s, 19,66 m³/s y 31,03 m³/s, respectivamente; mientras que los caudales mínimos se presentan en los meses de agosto (12,36 m³/s), julio (8,85 m³/s y 7,52 m³/s), respectivamente. En la Figura 20 se representan los caudales mencionados.

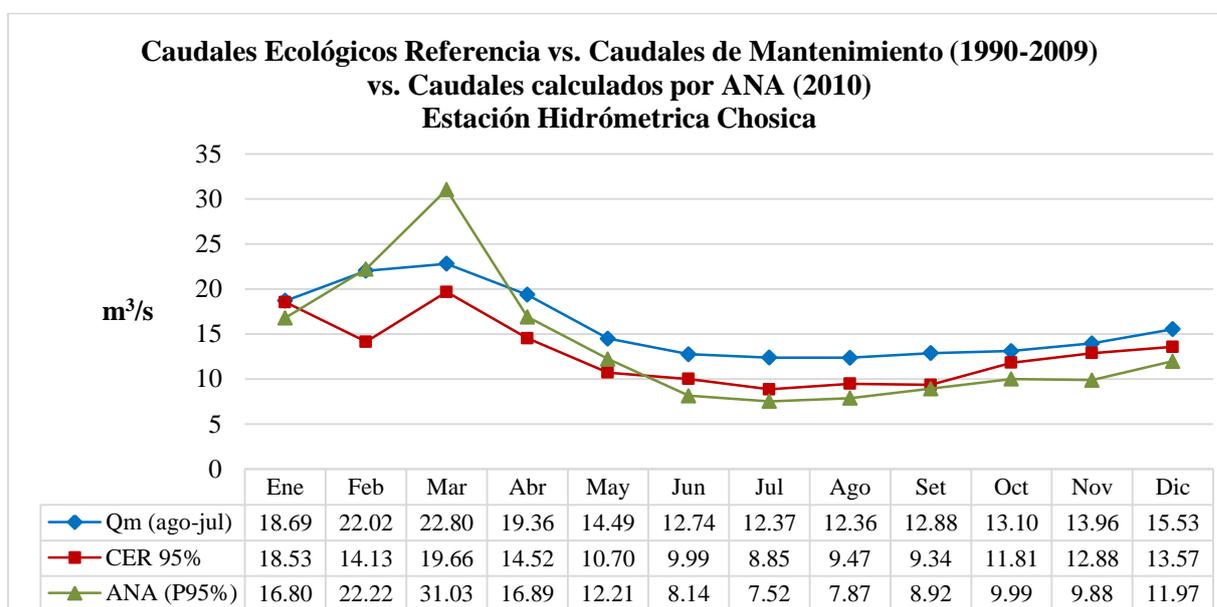


Figura 20: Caudal Ecológico Referencial, Caudales de Mantenimiento (1990 – 2009) y Caudales calculados por ANA (2010). Estación Hidrométrica Chosica.

FUENTE: Elaboración propia.

b. Estación Hidrométrica Sheque

En la Figura 21, se representa gráficamente los resultados del cálculo de Caudales Ecológicos Referenciales ‘CER95’ de la Estación Hidrométrica Sheque, así como el Régimen de Caudales de Mantenimiento (RQm) periodo 1990 – 2014 (representativos del caudal ecológico en dicha estación), y los caudales determinados por ANA (2010).

Los caudales obtenidos por las tres metodologías presentan similares comportamientos a los periodos anteriores. Los métodos estadísticos muestran caudales mayores durante la época húmeda, específicamente en el mes de marzo: 5,82 m³/s (‘CER95’) y 8,07 m³/s (Caudales calculados por ANA (2010) para el periodo 1965 – 2009). Los caudales del ‘RQm (jul – jun)’ presentan menor variabilidad a lo largo del año, con valores entre 2,58 m³/s (marzo) y 0,84 m³/s (agosto).

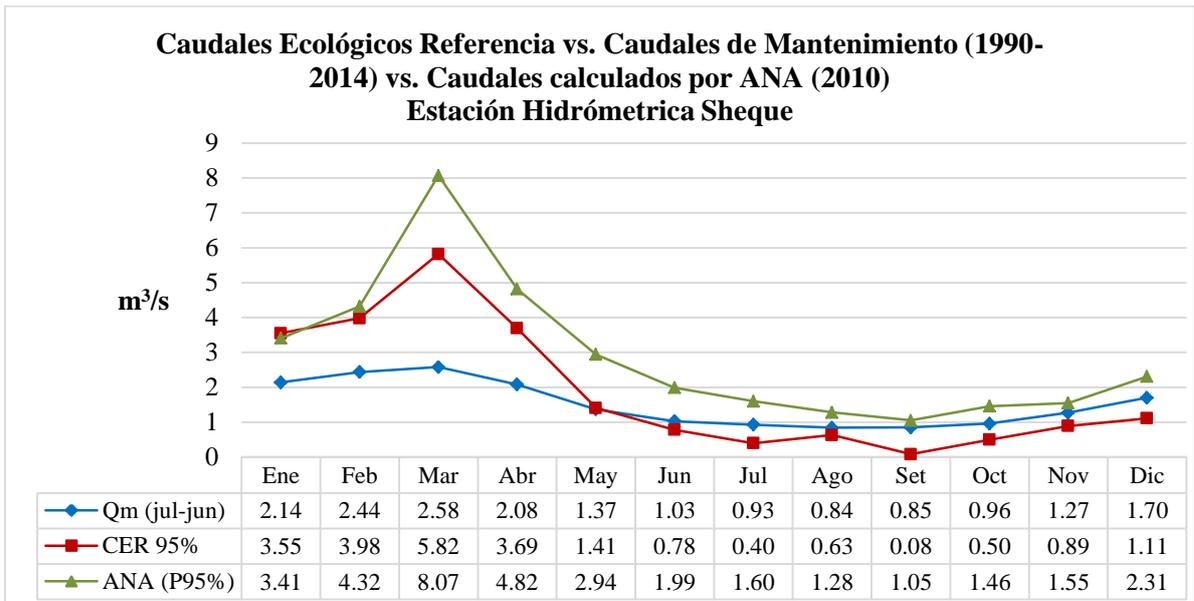


Figura 21: Caudal Ecológico Referencial, Caudales de Mantenimiento (1990 – 2014) y Caudales calculados por ANA (2010). Estación Hidrométrica Sheque.

FUENTE: Elaboración propia.

c. Estación Hidrométrica Tamboraque

Los regímenes ‘RQm (set-ago)’, ‘CER95’ y Caudales calculados por ANA (2010), tienen un comportamiento hidrológico similar, con caudales máximos en el mes de marzo (10,29 m³/s 13,14 m³/s y 12,62 m³/s, respectivamente). Los caudales mínimos se presentan en el mes de setiembre (5,21 m³/s), agosto (4,65 m³/s y 4,31 m³/s), respectivamente. Estos resultados se muestran en la Figura 22.

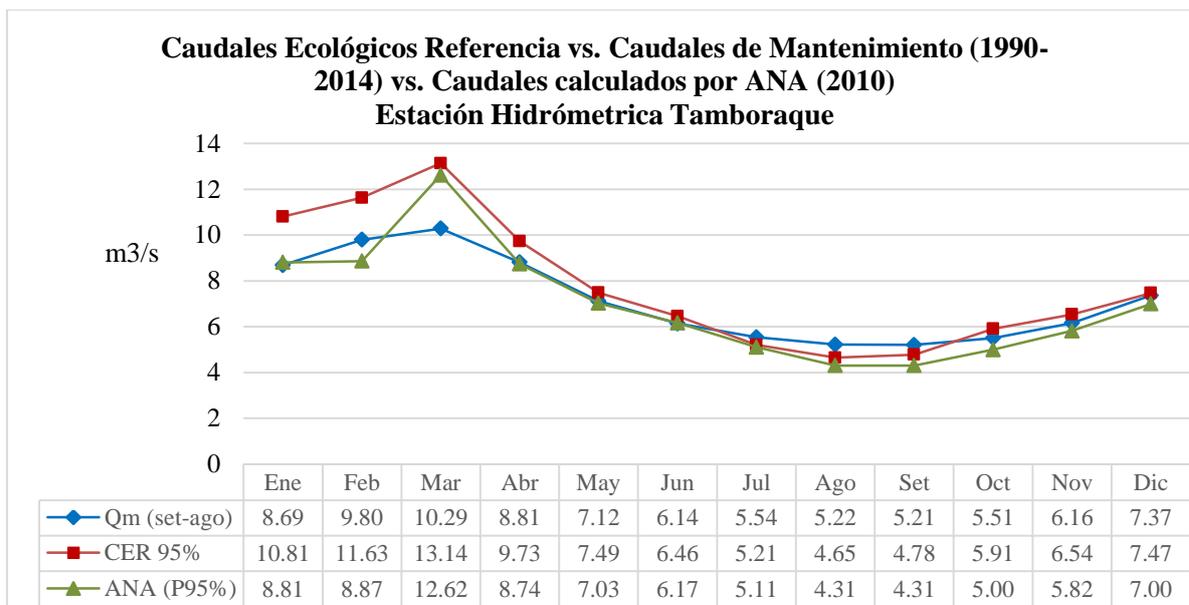


Figura 22: Régimen del Caudal Ecológico Referencial vs Caudales de Mantenimiento, periodo 1990 – 2014 vs. Caudales calculados por ANA (2010). Estación Hidrométrica Tamboraque.

FUENTE: Elaboración propia.

El análisis de Caudales Ecológicos Referenciales y Caudales de Mantenimiento permite definir una primera caracterización de los posibles Caudales Ecológicos en los tramos seleccionados. En las Estaciones Hidrométricas de Chosica y Tamboraque, ambos regímenes presentan tendencias y caudales similares, mientras que en la Estación Sheque existe una variación marcada en la temporada húmeda (de enero a mayo).

Además, se observa que los Caudales Ecológicos Referenciales y los caudales calculados por ANA (2010), presentan resultados con tendencia similar en todas las estaciones y periodos. Los valores de caudales obtenidos son ligeramente diferentes en estos dos métodos debido al registro histórico caudales medios mensuales multianuales.

Por otra parte, en el método hidrológico del Caudal Básico de Mantenimiento se emplearon los registros de caudales medios diarios de los periodos indicados en la Tabla 15, por lo que se obtuvieron resultados más precisos de caudales mínimos que deben discurrir en dichas estaciones. En la Tabla 43 y Figura 23, se presentan los Caudales Ecológicos (RQeco) de las Estaciones Hidrométricas Chosica, Sheque y Tamboraque, representativos del río Rímac.

Tabla 43: Regímenes de Caudales Ecológicos (RQeco) representativos del río Rímac.

Meses	Chosica (m ³ /s)	Sheque (m ³ /s)	Tamboraque (m ³ /s)
Enero	18,69	2,13	8,7
Febrero	22,02	2,42	10,06
Marzo	22,80	2,56	10,41
Abril	19,36	2,07	8,8
Mayo	14,49	1,36	7
Junio	12,74	1,03	6,06
Julio	12,37	0,92	5,45
Agosto	12,36	0,84	5,15
Septiembre	12,88	0,85	5,18
Octubre	13,10	0,95	5,51
Noviembre	13,96	1,26	6,05
Diciembre	15,53	1,68	7,16

FUENTE: Elaboración propia.

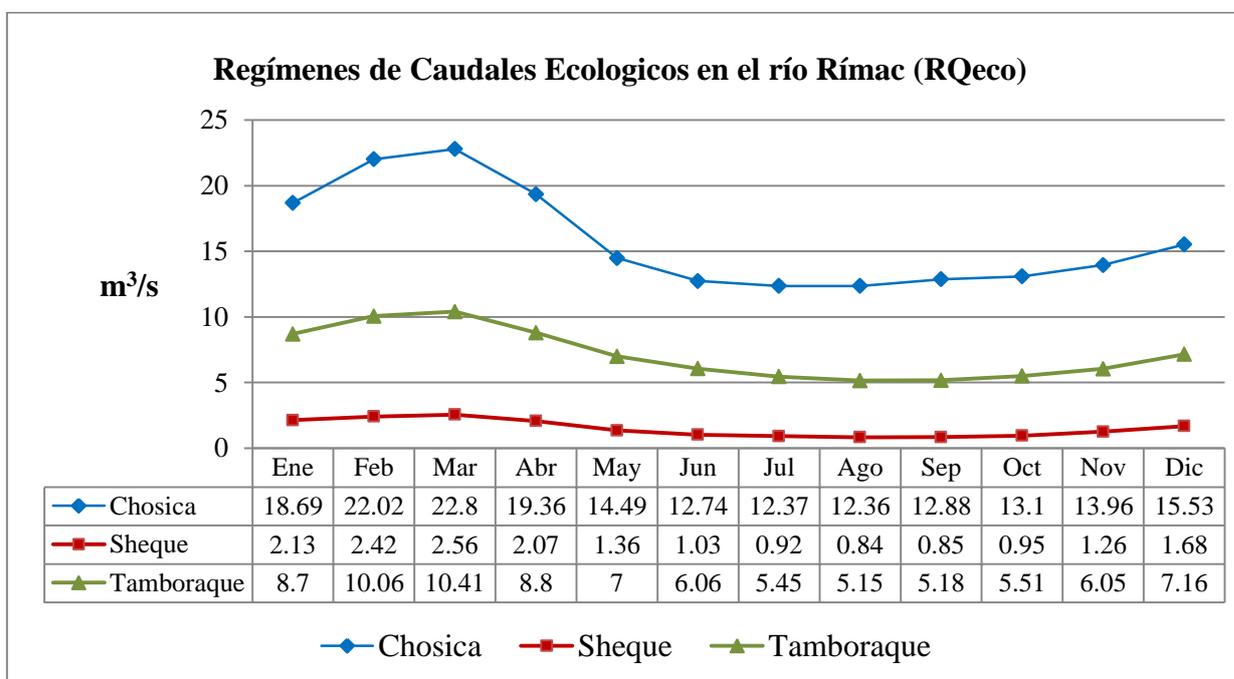


Figura 23: Regímenes de Caudales Ecológicos (RQeco) representativos del río Rímac (m³/s) – Estaciones Hidrométricas Chosica, Sheque y Tamboraque

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.4. Calidad del Agua Superficial

a. Estación E-14

Los resultados de monitoreos en la estación E-14, cercana y aguas arriba de la Estación Hidrométrica Chosica, se compararon con los ECA vigentes en el momento de la toma y análisis de la muestra. Estos resultados, se detallan a continuación:

- **pH**

Todos los meses evaluados se encuentran dentro del rango ECA para pH (5,5 – 9), excepto en el mes de abril, donde se obtuvo un valor de 9,45. El rango ECA para pH no ha sido modificado en desde el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, y sigue vigente mediante el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

- **Turbiedad**

Este parámetro excede los ECA para turbidez (100 UNT) en los tres primeros meses evaluados: enero (1205 UNT) febrero (426 UNT) y marzo (129 UNT); mientras que en los meses posteriores presentó valores por debajo de este rango. La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Los meses en los que se superaron los ECA para este parámetro pertenecen a la temporada húmeda de la cuenca, en la cual ocurren los caudales más altos causando turbulencia por el lecho pedregoso del río y removiendo los materiales depositados en él.

- **Aceites y grasas**

Se superaron los valores ECA para aceites y grasas vigentes en el momento de la toma de la muestra (1 mg/L) en los meses de febrero (3,7 mg/L), mayo (1,5 mg/L) y junio (4,9 mg/L). En el primer y tercer caso, los valores se mantienen fuera de lo establecido por la normativa vigente (D. S. N° 004-2017-MINAM). Las altas concentraciones de aceites y grasas están relacionadas al vertimiento de desechos domésticos o industriales al río. Este problema se acentúa mucho más en la cuenca baja, donde se intensifica la actividad industrial.

- **Demanda Química de Oxígeno**

Los valores ECA para Demanda Química de Oxígeno son excedidos en los meses de febrero (43 mg/L) y marzo (27 mg/L). Está relacionado con la disposición de residuos en

río, situación muy común en la cuenca media (en los distritos de Lurigancho – Chosica, Chaclacayo y Ate) y cuenca baja (Huachipa, Rímac, Centro de Lima y la Provincia del Callao).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Solo se excede el valor ECA para Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 mg/L) en el mes de junio (6,3 mg/L). La concentración de materia orgánica en el río es mayor cuando el caudal disminuye según su variabilidad temporal (temporada seca) y el aporte de desperdicios orgánicos es constante. Además de los vertimientos de aguas residuales domesticas directamente al río, a lo largo de su recorrido se pueden identificar zonas donde los pobladores lo usan para lavado de ropa, de frutas y verduras para el comercio, disposición de residuos sólidos domésticos, etc.

- **Aluminio**

En todos los meses analizados se observa que la concentración de aluminio excede a los valores ECA vigentes cuando se realizó el muestreo (0,2 mg/L, según D. S. N° 002-2008-MINAM). Actualmente el valor ECA para Aluminio es 5 mg/L (D. S. N° 004-2017-MINAM), y de los resultados mostrados, sólo el mes de febrero excedería este nuevo valor.

- **Arsénico**

Se excedió el valor ECA de Arsénico (0,01 mg/L) en todos los meses considerados, excepto en junio (0,005 mg/L).

- **Cadmio**

Se excedió el valor ECA de Cadmio, 0,003 mg/L según D. S. N° 002-2008-MINAM) y 0,005 mg/L según D. S. N° 004-2017-MINAM, en el mes de enero (0,014 mg/L).

- **Hierro**

Los resultados exceden los valores ECA para hierro (1 mg/L) en los meses de enero (61,35 mg/L), febrero (15,9 mg/L), marzo (4,84 mg/L) y abril (3,16 mg/L), en temporada húmeda de la cuenca.

- **Manganeso**

Se superan los valores ECA para manganeso (0,4 mg/L) en los meses de enero (1,81 mg/L) y febrero (0,694 mg/L).

- **Plomo**

Se superan los valores ECA para plomo (0,05 mg/L) en los meses de enero (0,434 mg/L) y febrero (0,121 mg/L).

- **Coliformes termotolerantes**

La presencia de coliformes termotolerantes en los ríos son indicadores de contaminación por materia fecal. En la cuenca del río Rímac, la parte media y baja presentan escenarios riesgosos para la salud pública debido a que la urbe se ubica al lado del río en ambas márgenes y no cuentan con servicio de alcantarillado y vierten las aguas negras directamente al río. Las concentraciones de coliformes fecales superan en gran medida al valore ECA de este parámetro (2000 NMP/100mL) en los meses de febrero (540000 NMP/100mL), abril (24000 NMP/100mL), mayo (24000 NMP/100mL), junio (3300 NMP/100mL) y agosto (170000 NMP/100mL).

b. Estación E-08

Este punto de monitoreo se ubica aproximadamente 500 metros aguas abajo del depósito de relaves de la Compañía Minera Nyrstar Coricancha S.A., antes Compañía Minera San Juan S. A. (OEFA, 2011), que a su vez toma parte en el cerro Tamboraque a la altura del kilómetro 90 de la carretera central, en la confluencia del río Aruri y el Río Rímac (ver Figura 24). La actividad de la compañía en mención es la extracción de oro, plata, zinc, cobre y plomo, y sus relaves contienen, además de restos de esos minerales, residuos de arsénico, cianuro y otros metales (García, 2017).

- **Turbiedad**

En el mes de enero el valor de turbidez de 243 UNT, por encima de los 100 UNT establecidos en los ECA aprobados por D. S. N° 002-2008-MINAM y D. S. N° 004-2017-MINAM, y actual.



Figura 24: Ubicación de Depósitos de Relaves junto al río Rímac.

FUENTE: Google Earth, 2017.

- **pH**

Al igual que en la Estación E-14, se presentó un valor alto, por encima del ECA para pH, en el mes de abril (9,45).

- **Oxígeno Disuelto**

El valor mínimo normado por los ECA para Oxígeno Disuelto es de 5 mg/L, sin embargo en el mes de abril se reportó 3,41 mg/L para este parámetro.

- **Aceites y grasas**

Sólo el mes de junio (3,1 mg/L) presenta un valor que está por encima de los ECA para este parámetro: 1 mg/L, vigente cuando se realizó el monitoreo (D. S. N° 002-2008-MINAM); 1,7 mg/L según D. S. N° 004-2017-MINAM.

- **Demanda Química de Oxígeno**

Concentraciones altas que superan los ECA para Demanda Química de Oxígeno en los meses de enero (26 mg/L) y mayo (36 mg/L).

- **Aluminio**

Se presentaron concentraciones por encima de los valores ECA para aluminio vigentes en el momento del monitoreo (D. S. N° 002-2008-MINAM: 0,2 mg/L) en los meses de enero (3,692 mg/L), febrero (3,572 mg/L), marzo (1,383 mg/L), abril (1,471 mg/L) y mayo (0,231 mg/L). Sin embargo los nuevos ECA para este parámetro (D. S. N° 004-2017-MINAM: 5 mg/L), no fueron superados.

- **Arsénico**

Se superan las concentraciones ECA de Arsénico (0,01 mg/L) en todos los meses evaluados: enero (0,045 mg/L), febrero (0,036 mg/L), marzo (0,029 mg/L), abril (0,057 mg/L), mayo (0,058 mg/L), junio (0,042 mg/L) y agosto (0,015 mg/L).

- **Cadmio**

Las concentraciones de Cadmio, al igual que el Arsénico, superan el ECA para este parámetro en todos los meses monitoreados: enero (0,012 mg/L), febrero (0,011 mg/L), marzo (0,01 mg/L), abril (0,014 mg/L), mayo (0,016 mg/L) y agosto (0,01 mg/L).

- **Hierro**

Las concentraciones más altas de Hierro, y que sobrepasan el ECA (1 mg/L), se presentaron en enero (5,46 mg/L), febrero (6,14 mg/L), marzo (mg/L) y abril (2,66 mg/L). En los demás meses se presentaron concentraciones por debajo del estándar.

- **Manganeso**

El valor ECA para Manganeso es 0,4 mg/L, y es superado en el mes de enero (0,658 mg/L), febrero (0,728 mg/L), abril (0,504 mg/L) y mayo (0,579 mg/L); en febrero, la concentración de Manganeso estuvo a penas por debajo del ECA (0,394 mg/L), mientras que en junio y agosto fueron mucho menores (0,249 mg/L y 0,013 mg/L respectivamente).

- **Plomo**

Al igual que el Manganeso, se superó el ECA para Plomo (0,05 mg/L) en enero (0,169 mg/L), febrero (0,052 mg/L), abril (0,056 mg/L) y mayo (0,052 mg/L); mientras que en marzo (0,031 mg/L), junio (0,027 mg/L) y agosto (<0,025 mg/L), las concentraciones están por debajo del ECA.

c. Estación Arur-2

Esta estación se ubica en el río Aruri antes de su confluencia con el río Rímac, aproximadamente a 170 metros de la estación E-08, tal como se muestra en la Figura 24. La Autoridad Nacional del Agua este punto en abril del 2012. La calidad del agua del río en este punto se ve afectada también por el depósito de relaves, pues presenta concentraciones altas y por encima de la norma vigente al momento del monitoreo D. S. N° 002-2008-MINAM y la actual D. S. N° 004-2017-MINAM para Aluminio, Arsénico, Cadmio y Hierro.

• Aluminio

La concentración en el mes de abril del 2012 fue 2,34 mg/L, que excedía el ECA para Aluminio vigente en el momento del monitoreo (D. S. N° 002-2008-MINAM, 0,2 mg/L).

• Arsénico

La concentración de Arsénico en el mes de abril (0,169 mg/L) superó al ECA para este parámetro (0,01 mg/L) en mayor medida que la estación E-08.

• Cadmio

La concentración de Cadmio en esta estación (0,0076 mg/L) este parámetro supera los ECA (0,003 mg/L según D. S. N° 002-2008-MINAM; 0,005 mg/L según D. S. N° 015-2015-MINAM).

• Hierro

Se obtuvo una concentración de 4,916 mg/L muy por encima del ECA para Hierro, 1 mg/L.

4.2.5. Caudal calculado para el cumplimiento de Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Q_{ECA})

a. Estación E-14

En la estación E-14, próxima a la Estación Hidrométrica Chosica, los parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes y coliformes totales) y metales pesados como el aluminio y el hierro requieren mayores caudales para ser diluidos y cumplir los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. El caudal calculado para cumplir con la

norma (Q_{ECA}), considerando un proceso de depuración natural en el río, respecto al caudal medio mensual y el caudal ecológico calculado, se muestra en la Tabla 44.

Se observa que en los meses de época húmeda, especialmente en los meses de verano (de enero a marzo), donde se presenta el mayor consumo anual de agua por parte de la población aledaña al cauce del río, los caudales requeridos para cumplir con los ECA son mucho mayores debido a las altas concentraciones de parámetros microbiológicos como los coliformes termotolerantes, y coliformes totales, provenientes del vertimiento de aguas residuales domésticas no tratadas.

**Tabla 44: Caudal calculado (Q_{ECA}), caudal medio mensual y caudal ecológico
Estación E-14 - Chosica**

Meses	Q_{mm} (m^3/s)	Q_{eco} (m^3/s)	Q_{ECA} (m^3/s)
Enero	36,81	18,69	2258,27
Febrero	56,21	22,02	17236,66
Marzo	66,43	22,8	1213,73
Abril	39,13	19,36	469,59
Mayo	21,15	14,49	253,74
Junio	14,83	12,74	72,65
Julio	13,12	12,37	1511,61
Agosto	12,96	12,36	-
Setiembre	13,82	12,88	-
Octubre	14,49	13,1	-
Noviembre	16,46	13,96	-
Diciembre	22,57	15,53	-

FUENTE: Elaboración propia.

b. Estación E-08

Los caudales necesarios para cumplir con los ECA en la Estación E-08, son mayores que los caudales medios mensuales registrados debido a la alta concentración de metales

pesados como el aluminio. El caudal calculado para cumplir con la norma (Q_{ECA}), respecto al caudal medio mensual y el caudal ecológico calculado se muestra en la Tabla 45.

Como en el caso anterior, en los meses de época húmeda se reportaron mayores concentraciones de parámetros contaminantes como el aluminio, arsénico, cadmio, hierro, manganeso y plomo, que exceden los ECA y por consiguiente requieren mayor caudal de agua para ser diluidos y cumplir con la norma, mientras que, por el contrario, en la época seca se observa que las concentraciones de estos elementos disminuyen e incluso son menores que los ECA.

Esto indica que en la temporada de lluvias existe un proceso de arrastre de metales desde los depósitos de relave de la Compañía Minera NYRSTAR CORICANCHA (Ex San Juan) hacia el río Rímac, mientras que en la temporada seca, no existe tal arrastre y los niveles o concentraciones de metales en el río son mucho menores.

Tabla 45: Caudal calculado (Q_{ECA}), caudal medio mensual y caudal ecológico.

Estación E-08 - Tamboraque

Meses	Q_{mm} (m^3/s)	Q_{eco} (m^3/s)	Q_{ECA} (m^3/s)
Enero	17,02	8,7	314,12
Febrero	23,17	10,06	413,81
Marzo	24,84	10,41	171,80
Abril	17,49	8,8	128,61
Mayo	11,20	7	64,96
Junio	8,56	6,06	35,95
Julio	6,89	5,45	20,29
Agosto	6,09	5,15	-
Setiembre	6,15	5,18	-
Octubre	6,99	5,51	-
Noviembre	8,36	6,05	-
Diciembre	11,80	7,16	-

FUENTE: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

1. Se determinaron los Regímenes de Caudales Ecológicos (RQeco) en la cuenca del río Rímac en las estaciones Chosica, Sheque y Tamboraque, donde se obtuvieron los siguientes Caudales Ecológicos máximos (CEmáx), todos ellos en el mes de marzo: 22,80 m³/s, 2,56 m³/s y 10,41 m³/s, respectivamente. Asimismo, los Caudales Ecológicos mínimos (CEmín) calculados se presentaron en el mes de agosto con caudales de 12,36 m³/s, 0,84 m³/s y 5,15 m³/s, respectivamente. Además, se observa que los RQeco presentan similar variabilidad y distribución estacional de caudales, es decir, tienen el mismo comportamiento hidrológico que los regímenes naturales del río Rímac en las estaciones hidrométricas estudiadas: temporada seca (junio – noviembre) y húmeda (diciembre – mayo) bien definidas.
2. En cuanto a la calidad del agua, la cuenca alta (Estación E-08 y Arur-2), registra concentraciones que exceden los ECA para metales pesados como aluminio, hierro, arsénico y cadmio durante la temporada húmeda; mientras que, en la época seca, estas concentraciones son menores y se encuentran por debajo de los ECA. Estos metales provenientes del depósito de relaves de la Compañía Minera Nyrstar Coricancha S.A. ubicado en el cerro Tamboraque al lado de la confluencia de los ríos Aruri y Rímac, son arrastrados hacia el río en temporada de lluvias mientras que en temporada seca permanecen estables en la relavera. Por lo tanto, se concluye que la ubicación actual del depósito de relaves es perjudicial para la calidad del agua que discurre por la Estación Hidrométrica Tamboraque.
3. En la cuenca media baja (Estación E-14), los principales parámetros que afectan la calidad del agua son los microbiológicos (Coliformes termotolerantes y Coliformes fecales) debido al vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales sin tratamiento por parte de la población aledaña al río.

4. Los caudales calculados para el cumplimiento de los ECA (Q_{ECA}), varían entre 76,65 m^3/s (junio) y 17 236 m^3/s (febrero) para la estación Chosica, mientras que en la estación Tamboraque se encuentran en un rango de 20,29 m^3/s (julio) y 413,81 m^3/s (febrero). Estos valores están muy por encima de los caudales ecológicos y caudales medios mensuales de la cuenca, y evidencian un alto grado de contaminación en los puntos estudiados.

VI. RECOMENDACIONES

1. La presente investigación ha demostrado que es posible determinar los Caudales Ecológicos mediante el método hidrológico del Caudal Básico de Mantenimiento (Palau, 2004). En tal sentido, las instituciones relacionadas a los recursos hídricos, deben promover la investigación, uso y aplicación de esta metodología para la determinación de caudales ecológicos, facilitando la obtención de información hidrológica por parte de los investigadores, con el fin de desarrollar el conocimiento del comportamiento hidrológico en las cuencas del país
2. El método del Caudal Básico de Mantenimiento puede ser automatizado o ser aplicado mediante *software* a todos los tramos de ríos que cuenten con el registro de datos requerido y proporcionar resultados inmediatos que permitan caracterizar hidrológicamente los ecosistemas fluviales de las áreas de interés, aun cuando estos no presenten especies hidrobiológicas, como es el caso del río Rímac.
3. Este método proporciona una primera aproximación hidrológica sobre funcionamiento y requerimiento del caudal de agua por parte del ecosistema fluvial. Los resultados obtenidos muestran Regímenes de Caudales Ecológicos distintos en los tramos estudiados, dadas las características particulares en cada uno de ellos (demanda de agua, fuentes y grados de contaminación, presencia de infraestructura hidráulica, etc). Por lo tanto, se recomienda realizar la gestión estas subcuencas de manera independiente, considerando su variabilidad hidrológica, demográfica, de calidad, etc., y calcular los regímenes caudales ecológicos empleando métodos holísticos de acuerdo a las características del tramo en estudio.

4. Se debe tener un control continuo sobre la calidad del recurso, pues de no cumplir con los Estándares Calidad Ambiental o Límite Máximo Permisible, se puede comprometer la salubridad de los ecosistemas. Frente a esta situación, la Autoridad Nacional del Agua y la Cooperación Coreana, buscan consolidar la implementación del «Plan Maestro para la Restauración del Río Rímac» (ANA, 2015), el cual contempla: mejorar la calidad del agua, asegurar su calidad a través de la construcción de reservorios y mantener de manera sostenible estos estándares de calidad ambiental, en un plazo comprendido hasta el año 2024. Sin embargo, el Programa de Vigilancia y Monitoreo de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Rímac, ha dejado de proporcionar información sobre la calidad de los mismos; por lo tanto, se recomienda continuar con el seguimiento de la calidad del agua en la cuenca.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcázar Montero, J. 2007. El método del Caudal Básico para la determinación de Caudales de Mantenimiento. Aplicación a la Cuenca del Ebro. Tesis Ph.D. Lleida, ES, Universidad de Lleida. 173 p.
- Allan, JD; Castillo, M. 2007. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. 2 ed. s.l., Springer. 436 p.
- Autoridad Nacional del Agua, 2016. Aprobación de Metodología para determinar Caudales Ecológicos - R.J. N° 154-2016-ANA. Lima, PE. 15 p.
- Autoridad Nacional del Agua, PE. 2010. Evaluación de los Recursos Hídricos de la cuenca del río Rímac: Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac. Lima, PE, s.e. v. 1, 225p.
- Autoridad Nacional del Agua. 2011. Identificación de Fuentes contaminantes en la cuenca del río Rímac. (en línea). Lima, PE. Consultado 15 nov. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.ana.gob.pe>
- Autoridad Nacional del Agua. 2012. Informe Técnico N° 006-2012-ANA-DGCRH/JJOS sobre el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac realizado en abril del 2012. 7 p.
- Baeza Sanz, D; Vizcaíno Martínez, P. 2007. Estimación de caudales ecológicos en dos cuencas de Andalucía. Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas. Ecosistema 17(1):24-36.

- Bernal Gaitán, A. 2012. Dinámica de las condiciones de calidad del agua del sistema fluvial de los ríos Sensunapan - Papaloate - Las Monjas en el Departamento de Sonsonate. El Salvador. 174 p.

- Bovee, KD. 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper 12. U.S.D.I. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. Washington, US. Arlis. 248 p.

- Bovee, KD; Milhous, R. 1978 Hydraulic simulation in instream flow studies: Theory and techniques. Fish and Wildlife Service; U.S. Environmental Protection Agency; Heritage Conservation and Recreation Service; Bureau of Reclamation. Colorado, US. 131p.

- Bunn, S; Arthington, A. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. Environmental Management 30(4): 492-507.

- Bustamante Toro, CA; Monsalve Durango, EA; García Reinoso, PL. 2007. Los Caudales Ecológicos: Herramienta fundamental en la Gestión Integral de las Fuentes Hídricas del Quindío. Revista de Investigaciones - Universidad del Quindío. no 17: 205-221.

- Castro Heredia, LM; Carbajal Escobar, Y; Céspedes López, G. 2012. Aplicación de la metodología de caudales básicos de mantenimiento en la Cuenca Media del río Tuluá - Subcuenca del Río Cauca. Revista Tecnura. 16(31):33-44.

- CIGEA (Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental, CU). 1998. Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante. La Habana, CU. 30 p.

- Comunidad Andina, PE. 2007. ¿El fin de las cumbres nevadas?: Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina. Secretaría General DE la Comunidad Andina. Lima, PE. 144 p.

- Diez Hernández, JM; Burbano Burbano, L. 2006. Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas. *Revista Ingeniería e Investigación* 26(1): 58-68.
- García de Jalón, D; González del Tánago, M. s.f. El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles. s.n.t. 10 p.
- Gippel, CJ; Stewardson, MJ. 1996. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flow. *Regulated Rivers: Research and Management* 14(1):53-67.
- González del Tánago, M. 1994. Impacto de la agricultura en los sistemas fluviales. Técnicas de restauración para la conservación del suelo y del agua. In *Agricultura y Sociedad* N° 78. 1966. p. 211-236.
- Guillén, O; Córdor, V; Gonzales, M; Iglesias, S. 1998. Contaminación de las aguas del río Rímac: Trazas de metales (en línea). Lima, PE. Consultado 02 oct 2016. Disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v01_n2/contaminacion.htm
- Hendricks, DW. s.f. Impactos de las represas en la calidad del agua.
- INGEMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, PE). 2015. Evaluación geológica y consecuencias de los huaicos de Chosica del 23-03-15: Crónica de un desastre anunciado (en línea). Lima, PE. Consultado 12 dic. 2016. Disponible en <http://www.sgp.org.pe/>
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 1983. Diagnóstico de la calidad de agua en la vertiente del Pacífico. Lima, PE. Tomo 2, 446 p.
- Jamett Domínguez, G; Rodrigues Finotti, A. 2008. Evaluación del instrumento caudal ecológico, panorama legal e institucional en Chile y Brasil. s.n.t. 25 p.

- Jiménez, JA; Calvo, J; Pizarro, F; González, E. 2005. Conceptualización de Caudal Ambiental en Costa Rica: Determinación Inicial para el Río Tempisque. San José, CR, imprenta y litografía Oro Print S.A.

- King, J; Tharme, R; Brown, C. 1999. Definition and implementation of instream flows. Cape Town, ZA, Word Commission on Dams. 87 p.

- K-Water, KR/Yooshin Engineering, KR/Pyunghwa Engineering, KR 2015. Plan Maestro del Proyecto Restauración del río Rímac. Lima, PE. 575 p.

- Magdaleno, F. 2004. Caudales ecológicos: conceptos básicos, métodos de cálculo y nuevas interpretaciones. Ingeniería Civil 135/2004. p. 81-92 Fuente original: Cachón, J. 2003. Régimen ambiental de caudales. Puesta en práctica en España: problemas, requerimientos y propuesta de soluciones. Actas del Curso "Régimen Ambiental de Caudales". UIMP, Cuenca.

- Martínez, C; Fernandez, J. 2010. Índices de alteración hidrológica en ríos. Manual de referencia metodológica, Versión 2.2. Universidad Politécnica de Madrid, ES. 127 p.

- Mayo Rustarazo, M. 2000. Determinación de regímenes de caudales ecológicos mínimos: Adaptación del método IFIM- PHABSIM a los ríos españoles. Tesis Mag. Sc. Madrid, ES. Universidad Politécnica de Madrid. 686 p.

- Ministerio de Agricultura, PE. Autoridad Nacional del Agua. 2010. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338. Lima, PE. s.e. 81 p.

- Ministerio de Energía y Minas, PE. Resolución Ministerial N° 102-2015-MEM/DM. Actualizan el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros.

- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ES. Conceptos y métodos sobre el Régimen de Caudales Ecológicos.

- Ministerio de Obras Públicas, CL. 2008. Determinación de Caudales Ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación.
- Ministerio del Ambiente, PE. 2009. Identificación de fuentes de contaminación en la cuenca del río Rímac. Resumen ejecutivo. Lima, PE.
- Monsalve Sáenz, G. 1995. Hidrología en la Ingeniería: densidad de drenaje. Santafé de Bogotá, CO. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 359 p.
- Nelson, F. 1983. Guidelines for using the wetted perimeter (WETP) computer program oh the Montana Department of Fish, Wildlife and Parks (en línea). Montana, US. Consultado 22 nov. 2014. Disponible en: <https://archive.org/stream/guidelinesforusi1983nels#page/n0/mode/1up>.
- Ollero, A. 1996. El curso medio del Ebro: geomorfología fluvial, ecogeología y riesgos. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza, ES. 311 p.
- Palau, A. 1994. Los mal llamados caudales «ecológicos». Bases para una propuesta de cálculo (en línea). Revista del Colegio de Ingeniero de cambios, canales y puertos. no 2(28). Lleida, ES. Consultado 24 abr 2015. Disponible en http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/op/28/op28_8.htm#caudal2
- Palau, A. 2004. Método QBM (Caudal Básico de Mantenimiento): calidad del agua suministrada (en línea). Lleida, ES. Consultado 08 nov. 2014. Disponible en <http://www.inea.rj.gov.br>
- Perales Pontes, JM. 2010. Caracterización del régimen de caudales ecológicos mínimos y análisis de riesgos en los embalses de la cuenca del río Guadalfeo (Granada). Tesis Lic. Ing. Montes. Córdoba, ES, Universidad de Córdoba. 130 p.
- Poff, NL; Allan, JD; Bain, MB; Karr, JR; Prestegard, KL; Ritcher, BD; Sparks, RE; Stromberg, JC. 1997. The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47(11): 769-784.

- Randolph, CL. 1984. Validity of the wetted – perimeter method for recommending instream flows for rainbow trout in a small stream. Thesis M. Sc. Montana, US, Montana State University. 95p.
- Rojas, R. 1986. Contaminación del río Rímac por Metales Pesados provenientes de la Industria Minera (en línea). s.l. 76 p. Consultado 04 oct 2016. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org>
- Sánchez, R; Ibáñez, C. 2007. Criterios para la implantación de Caudales Ecológicos. Plan Hidrológico del Ebro. Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias, ES. 65 p.
- Saldaña–Fabela, MP; Diaz-Pardo, E; Gutiérrez Hernández, A. 2011. Diagnóstico de la calidad del agua en un sistema de embalses en cascada, cuenca del río San Juan, Querétaro, México. Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México 2(3): 115-126.
- Seminario Internacional sobre eventos extremos mínimos en regímenes de caudales: diagnóstico, modelamiento y análisis (2004, Medellín, CO). 2004. Corrientes Naturales: Intervenciones y condiciones naturales. Vélez Upegui, JI; Ríos Rojas, L. Medellín, CO. Universidad Nacional de Colombia. 9 p.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, PE. 2014. Indicadores de Alteración Hidrológica del río Rímac Lima, PE, s.e, 51p.
- Tennant, DL. 1976. Instream flow regimes for fish wildlife recreation and related environmental resources. Fisheries 1(4): 6-10.
- Tiznado, W; Olivera, P. 1999. Determinación de Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y As en aguas del río Rímac por fluorescencia de rayos-x (en línea). Lima, PE. 4 p. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org>

- UICN (International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, CR). 2003. Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Ed UICN-ORMA (Oficina Regional para Mesoamérica). Trad. JM Blanch. San José, CR. Manthra editores. 125 p. (ISBN: 2-8317-0788-9).
- Vera Hernández, LE. 2002. Análisis de aforo de la Estación Hidrométrica Obrajillo - Periodo 2000 - 2001. Tesis Ing. Mec. Flu. Perú, UNMSM. 84 p.
- Villanueva Ure, JC; Alata Rey, JE. 2011. Análisis y propuesta de una metodología para la determinación del caudal ecológico en centrales hidroeléctricas del Perú, aplicación a un caso típico. Tesis Mag. Sc. Lima, PE, Universidad Nacional de Ingeniería. 99p.
- Villón Béjar, M. 2016. Hidrología estadística. 5 ed. Lima, PE. Editorial Villón. 434 p.
- WWF México (World Wildlife Fund for Nature). 2010. Caudal Ecológico: Salud al ambiente, agua para la gente. México. 4 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Caudales Medios Mensuales (1921 – 2009) - Estación Chosica.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1921	47,44	61,74	73,38	45,33	23,53	14,18	11,15	8,54	12,37	10,47	12,69	25,64
1922	27,00	47,15	68,68	42,00	27,61	10,59	10,23	8,15	11,74	14,02	15,2	31,68
1923	52,6	40,96	65,9	54,85	23,27	13,16	10,24	7,63	12,48	15,12	17,98	35,95
1924	35,27	43,16	66,4	45,38	20,88	12,55	10,52	11,73	13,59	14,63	15,69	18,73
1925	30,02	50,12	63,95	39,78	21,62	6,96	7,53	9,62	14,35	13,18	12,85	21,41
1926	34,72	89,18	105,1	59,21	27,48	8,97	8,46	11,55	14,76	13,64	15,16	22,46
1927	46,13	67,84	103,96	43,61	29,38	12,06	6,75	9,23	14,24	12,93	13,42	25,54
1928	38,58	82,8	91,49	52,49	24,06	8,21	9,04	11,46	12,89	12,38	14,51	18,11
1929	60,43	104,7	94,72	35,42	13,23	7,4	7,45	8,16	13,61	14,25	20,27	23,42
1930	44,48	35,75	96,45	73,88	46,22	21,85	8,85	9,72	9,82	9,94	13,59	16,19
1931	25,94	40,14	39,8	28,94	21,79	17,08	11,84	9,21	12,48	13,32	17,13	35,86
1932	46,29	124,53	69,3	49,49	27,82	12,85	12,18	13,23	10,98	12,8	17,32	19,15
1933	28,72	67,7	102,24	56,47	30,2	18,07	12,45	12,52	12,66	12,3	12,93	21,04
1934	50,04	83,47	118,62	54,81	32,87	22,44	15,38	12,09	12,01	12,91	13,22	12,78
1935	59,43	62,5	145,67	45,8	26,02	13,4	12,37	12,57	13,23	13,05	13,52	36,1
1936	55,3	42,09	45,28	29,68	18,89	13,1	12,55	12,51	12,97	12,72	13,05	13,4
1937	22,43	27,3	69,13	25,94	17,2	13,06	12,03	11,87	13,05	13,6	14,24	22,78
1938	32,63	97,8	60,41	44,94	22,86	13,34	13,05	12,75	13,05	12,62	12,96	13,79
1939	23,53	64,73	128,06	48,44	20,88	13,25	12,01	12,27	12,97	13,00	13,05	21,38
1940	44,23	33,21	75,31	33,85	16,71	13,38	12,15	12,6	13,05	12,95	13,6	13,54
1941	41,37	79,69	99,29	16,94	13,56	12,05	11,76	12,2	12,64	14,1	17,13	28,96
1942	53,89	82,11	53,05	31,06	19,07	14,15	13,84	13,55	12,95	12,76	12,73	17,32
1943	38,71	112,48	69,17	53,11	17,42	13,02	12,9	13,07	13,2	13,57	13,8	23,79
1944	47,49	58,49	67,27	32,01	18,22	14,02	13,00	13,03	13,02	13,42	13,67	16,04
1945	29,35	44,06	56,99	37,47	18,82	13,95	12,37	11,96	11,97	13,11	18,5	35,98
1946	70,04	60,38	109,78	53,44	25,44	15,65	12,71	12,29	13,05	13,21	18,03	31,91
1947	39,97	38,79	69,95	30,63	21,24	13,53	11,65	12,13	13,05	15,08	14,65	17,69
1948	56,6	47,14	54,94	36,25	25,37	19,5	15,3	12,59	13,06	22,79	22,35	17,11
1949	29,97	27,93	62,07	31,86	17,81	14,35	13,78	13,34	13,03	13,32	16,02	11,89
1950	37,99	47,88	45,36	40,34	20,56	15,11	13,23	12,79	12,46	12,44	14,37	39,94
1951	44,55	76,26	114,19	45,12	20,95	18,14	13,63	12,65	12,98	14,45	29,52	31,85
1952	66,47	88,07	87,48	51,88	20,08	17,6	14,66	12,68	13,65	13,15	17,97	25,19
1953	35,00	105,61	81,5	50,27	22,87	17,79	15,47	13,82	14,58	14,26	26,58	28,71
1954	47,69	96,55	94,68	31,43	23,16	17,57	14,9	13,89	13,55	14,71	20,67	20,24

Continuación.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1955	41,71	75,79	112,13	39,25	21,77	18,28	16,05	13,4	13,25	12,15	11,58	15,05
1956	18,42	75,7	69,27	37,43	16,66	12,21	10,86	11,93	12,89	11,82	11,4	11,98
1957	15,99	42,96	48,81	30,93	14,24	10,26	9,84	10,73	11,5	11,43	11,89	13,12
1958	17,44	43,08	48,45	17,99	12,32	10,55	10,4	10,55	11,14	12,03	12,36	12,45
1959	12,2	68,84	70,64	57,98	19,08	12,94	12,25	11,81	12,66	16,26	15,16	23,97
1960	31,34	39,25	40,52	22,35	14,3	12,22	11,74	11,63	12,47	13,15	13,66	13,22
1961	27,21	50,89	43,12	39,49	21,69	14,31	12,67	12,46	13,06	12,97	19,35	33,75
1962	41,3	41,91	61,76	32,08	18,21	13,94	13,97	14,15	13,88	13,72	13,08	17,18
1963	48,18	49,37	60,71	35,45	21,37	15,56	14,6	14,14	14,84	15,48	19,11	34,7
1964	22,89	37,15	53,53	42,38	22,69	15,36	14,74	14,87	15,4	15,48	13,74	13,11
1965	14,97	47,74	40,32	17,31	13,1	9,47	8,96	8,4	9,75	10,54	11,04	13,11
1966	28,76	25,24	33,99	19,33	12,94	8,95	9,2	7,89	9,65	15,75	15,76	23,08
1967	27,56	66,66	57,31	27,26	17,17	12,91	12,24	11,54	12,89	16,83	15,4	15,44
1968	20,22	18,4	27,36	16,42	11,08	9,97	10,32	9,18	9,61	13,45	16,94	20,18
1969	18,42	33,27	46,59	26,09	13,65	11,05	8,94	8,08	9,73	10,66	12,11	39,4
1970	84,24	31,78	41,66	33,2	20,83	14,21	11,71	11,85	13,48	13,39	12,69	17,53
1971	36,1	43,74	74,32	35,73	16,52	16,07	13,17	13,81	14,03	11,8	9,49	21,71
1972	43,68	63,04	134,8	61,96	19,31	13,08	10,54	9,79	8,89	9,31	9,92	21,18
1973	50,54	55,82	68,05	51,09	14,13	7,05	4,83	3,8	1,53	4,29	6,95	16,93
1974	33,51	43,68	52,29	28,51	11,12	6,97	4,3	5,45	8,92	9,4	6,5	5,61
1975	14,83	14,62	94,71	36,15	24,26	17,25	14,2	13,67	13,81	13,85	14,78	18,84
1976	38,09	72,62	61,17	33,06	16,92	12,78	9,86	9,24	9,59	11,53	13,01	14,3
1977	16,99	66,03	51,35	29,04	19,66	13,21	12,95	11,5	14,42	15,69	25,1	26,98
1978	34,08	73,56	41,33	26,62	13,45	10,32	11,58	12,05	13,42	13,59	14,03	17,71
1979	16,88	71,69	89,4	31,95	14,94	11,71	11,59	13,89	14,49	14,17	13,67	13,73
1980	25,7	25,71	35,45	29,07	12,41	10,53	8,49	10,46	14,74	14,58	14,57	19,4
1981	33,76	82,79	68,71	40,78	18,91	15,24	13,71	13,96	14,57	10,76	13,00	19,15
1982	25,03	48,36	45,51	42,07	35,67	28,02	25,21	26,77	18,98	20,46	25,68	23,57
1983	27,94	25,64	55,15	65,88	33,83	22,95	18,37	13,46	12,57	20,92	19,63	32,13
1984	28,35	64,21	49,18	30,00	20,81	26,48	22,53	21,79	22,96	22,57	21,66	43,4
1985	32,15	43,62	57,33	54,59	26,14	31,76	21,25	24,27	19,77	15,87	22,5	35,29
1986	80,52	88,47	98,74	69,53	51,29	19,6	17,92	14,5	16,4	14,65	20,58	24,4
1987	51,01	78,19	93,58	27,41	16,35	15,31	14,77	15,87	13,41	15,93	18,1	20,3
1988	35,36	36,92	34,73	47,08	24,21	15,27	16,52	18,41	14,4	15,36	14,57	21,83
1989	28,24	40,08	46,46	35,06	18,17	12,51	11,75	10,92	11,16	11,8	12,02	10,04
1990	18,53	14,13	14,75	13,08	10,7	9,31	8,24	6,44	7,82	13,01	19,6	17,55
1991	19,13	23,97	36,8	24,65	19,49	9,99	8,85	9,47	9,34	13,95	14,14	13,57
1992	16,96	10,73	19,66	15,81	10,59	10,3	11,05	10,67	10,42	10,72	8,6	8,98
1993	30,72	49,02	54,41	34,18	21,65	13,31	12,25	10,74	11,75	13,56	28,88	49,9
1994	47,13	92,37	80,28	49,68	31,8	19,23	17,71	18,74	18,46	14,94	16,36	18,3
1995	25,74	22,6	31,4	32,62	18,37	17,23	16,42	17,88	17,8	17,67	17,44	18,19
1996	44,94	70,28	53,56	43,25	21,32	20,47	19,77	15,48	16,84	14,46	12,88	15,36

Continuación.

1997	23,73	42,86	25,18	14,52	13,21	11,18	10,3	12,48	11,00	11,81	15,11	29,78
1998	53,12	68,4	59,29	39,61	24,36	20,21	18,15	17,00	21,91	22,65	24,14	24,12
1999	30,09	80,58	71,00	51,95	30,83	19,96	20,02	20,72	25,06	22,49	23,91	34,61
2000	56,1	69,77	77,16	55,54	32,21	18,83	15,08	13,79	16,23	17,65	16,79	24,28
2001	68,83	62,37	83,12	56,52	30,4	22,22	21,68	19,47	19,96	21,5	25,6	23,26
2002	24,27	38,77	52,91	42,53	16,8	13,02	15,00	17,06	23,49	25,98	30,18	33,1
2003	45,00	54,37	81,84	54,64	29,2	26,16	24,72	24,32	23,6	24,46	26,76	28,25
2004	22,01	41,00	32,62	28,21	18,3	17,01	16,67	16,41	18,86	17,36	21,1	35,73
2005	41,04	36,83	42,57	35,38	21,9	21,55	21,33	21,34	19,7	19,85	19,7	20,29
2006	28,44	45,17	60,41	50,98	23,27	18,34	18,16	18,25	16,47	15,91	16,37	23,99
2007	43,87	48,95	65,9	52,84	22,3	14,72	10,16	13,62	15,22	15,3	14,92	13,98
2008	31,4	43,83	42,73	22,89	13,45	12,57	12,45	11,78	16,67	18,21	18,21	21,25
2009	37,08	67,25	68,94	41,24	15,44	13,31	12,38	13,88	16,01	16,6	24,71	34,74

Anexo 2: Caudales Medios Mensuales (1965 – 2014) – Estación Sheque.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1965	1,72	11,34	9,79	3,06	2,34	1,02	1,02	0,26	0,32	0,87	1,38	2,95
1966	9,91	6,91	8,21	4,7	1,51	2,48	0,92	0,63	0,7	2,46	2,48	5,26
1967	3,42	22,7	18,59	5,78	2,66	1,07	1,67	2,19	2,37	4,22	3,29	2,45
1968	4,42	2,73	6,63	3,69	0,88	0,92	0,1	0,41	0,17	0,55	1,95	1,23
1969	0,65	4,34	6,94	6,61	1,38	0,58	0,48	0,35	0,2	0,48	2,16	11,7
1970	21,05	6,56	6,94	5,33	3,67	1,7	1,05	0,91	1,79	2,03	1,41	4,7
1971	9,44	13,53	21,36	9,34	3,54	1,89	0,88	1,38	1,26	0,53	1,32	3,84
1972	13,57	12,56	24,53	13,92	4,67	2,48	1,75	0,47	0,36	0,95	0,22	4,09
1973	13,83	19,04	21,25	16,29	4,69	2,21	1,37	0,09	1,74	2,27	2,95	6,86
1974	11,84	15,83	17,15	6,87	1,19	2,53	1,37	1,29	0,87	1,87	0,72	0,34
1975	4,63	4,51	18,94	6,89	3,06	2	1,16	1,02	1,57	0,57	1,63	0,5
1976	6,99	13,64	11,92	5,09	0,62	1,25	0,78	0,67	0,53	0,18	0,05	2,96
1977	2,26	17,43	8,2	3,26	1,53	0,66	0,49	0,54	0,52	0,82	2,52	2,83
1978	3,96	13,54	6,95	3,4	1,26	0,85	0,88	1,13	0,47	1,48	1,71	3,19
1979	2,07	13,29	17,38	7,29	2,18	1,56	1,5	1,45	3,58	1,27	1,04	0,1
1980	5,46	3,87	9,08	6,56	2,01	1,29	1,12	0,24	2,52	0,55	3,09	4,1
1981	6,93	23,34	18,29	6,67	2,88	2,21	1,38	1,05	1,14	1,99	3,69	5,61
1982	4,41	24,14	6,9	5,44	3,55	1,86	2,06	3,08	1,04	2,73	4,58	3,27
1983	5,66	3,27	9,01	9,44	2,42	2,52	1,26	1,26	1,48	1,34	1,63	5,23
1984	5,76	28,32	21,21	11,15	5,21	3,09	1,93	1,72	2,31	3,15	2,94	9,58
1985	5,22	9,32	13,84	10,04	4,37	2,98	1,9	1,63	1,78	1,13	2,21	4,17
1986	13,78	14,65	19,97	13,36	6,54	3,74	1,57	2,27	2,26	2,37	2,33	3,77
1987	14,81	15,04	8,43	2,94	1,49	0,96	1,47	0,96	0,45	1,48	1,4	5,63
1988	9,33	16,84	7,96	10,45	4,18	2,39	1,59	0,58	0,58	1,36	1,34	1
1989	12,04	20	17,85	11,41	4,43	2,42	1,27	0,59	0,04	1,98	2,51	4,75
1990	6,3	3,09	3,67	2,59	0,33	2,28	0,27	0,68	1,15	1,44	7	5,34
1991	5,07	6,73	14,55	5,88	4,12	1,9	1,33	0,94	1,25	1,31	2,68	0,99
1992	3,33	1,08	5,24	3,69	1,24	0,65	0,76	0,85	0,3	1,11	0,81	0,93
1993	4,99	11,85	14,46	9,49	4,54	2,01	1,81	1,34	1,61	2,96	7,67	11,44
1994	13,89	17,02	14,85	15,41	7,9	4,59	3,68	2,61	3,37	2,86	3,71	5,16
1995	8,14	6,66	10,73	10,46	3,89	3,05	2,57	2,39	2,32	1,8	4,61	6,63
1996	11,99	18,42	15,99	10,69	4,92	3,39	2,67	3,03	2,63	2,34	3,35	3,6
1997	7,37	13,66	8,07	3,7	3,42	3,17	3,08	2,61	2,61	2,21	4,4	8,5
1998	15,39	15,77	14,43	7,78	3,86	2,37	2,47	1,45	1,35	2,47	2,4	2,57
1999	4,84	15,19	13,97	9,09	5,8	2,32	1,56	2,05	2	1,68	1,64	7,47
2000	13,47	17,37	19,01	6,97	5,9	2,83	2,54	1,93	2,3	4,74	3,83	7,14
2001	17,78	15,19	18,92	11,9	6,58	4,3	3,31	3,01	3,06	2,46	4,93	4,48
2002	4,21	9,16	13,6	10,07	3,65	2,75	2,54	2,22	2,75	2,51	4,78	6,7
2003	9,82	10,19	15,18	8,01	3,11	1,67	1,32	1,04	1,14	2,5	1,27	4,22
2004	1,66	9,43	7,58	6,65	1,92	0,18	2,41	0,76	0,07	0,64	3,57	7,62
2005	9,73	8,4	12,1	9,46	2,62	1,15	0,63	0,15	0,06	0,22	0,46	2,19
2006	6,39	10,95	14,96	11,79	3,13	1,15	0,89	0,84	0,11	0,6	1,27	4,99

Continuación.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2007	11,43	12,2	15,96	11,35	3,07	1,92	1,37	0,96	1,06	1,22	1,13	1,48
2008	11,55	15,17	12,7	5,82	1,98	1,19	1,27	1,04	1,01	0,46	1,62	3,78
2009	9,38	19,38	16,59	10,79	3,39	1,31	1,57	1,14	1,35	3,23	7,27	12,17
2010	15,54	11,14	15,93	11,01	3,84	1,85	1,58	1,05	0,7	1,22	1,31	10,13
2011	15,36	14,9	15,3	14,21	4,88	2,84	1,54	1,29	1,22	1,35	3,53	8,7
2012	9,49	18,28	14,44	13,79	5,16	2,12	1,14	0,61	1,49	1,49	5,31	8,31
2013	11,02	16,52	20,52	6,1	3,51	2,41	1,95	1,69	1,7	2,57	2,55	8,29
2014	10,85	11,72	16,45	7,84	4,81	2,02	0,33	1,36	1,01	2,02	2,83	6,57

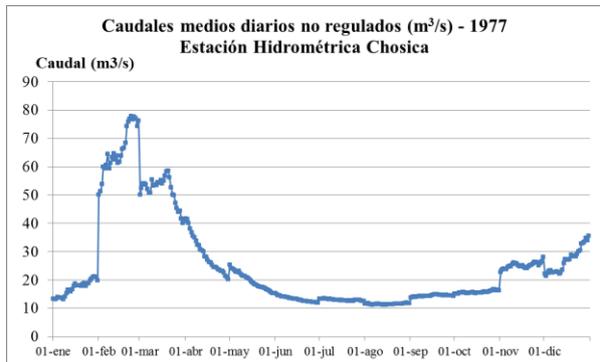
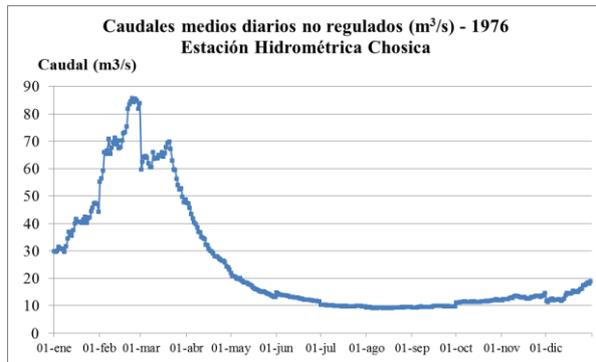
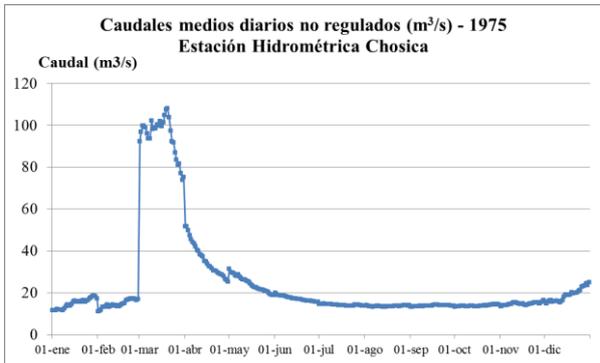
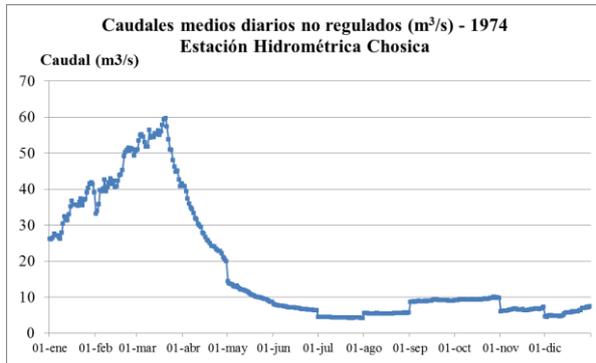
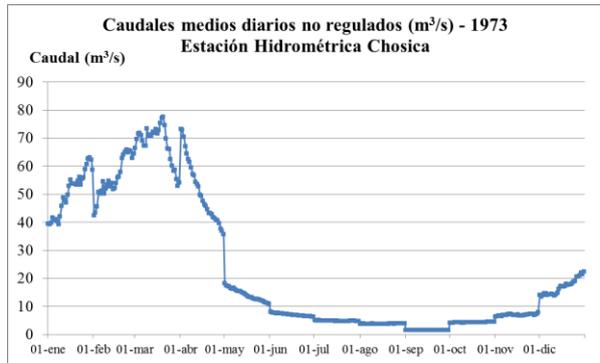
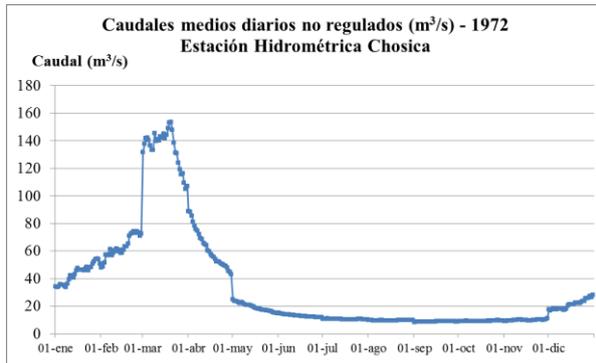
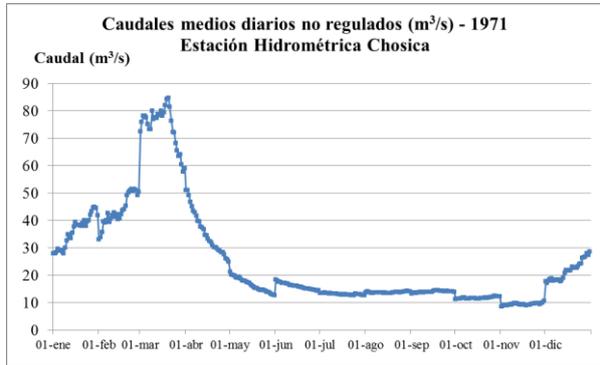
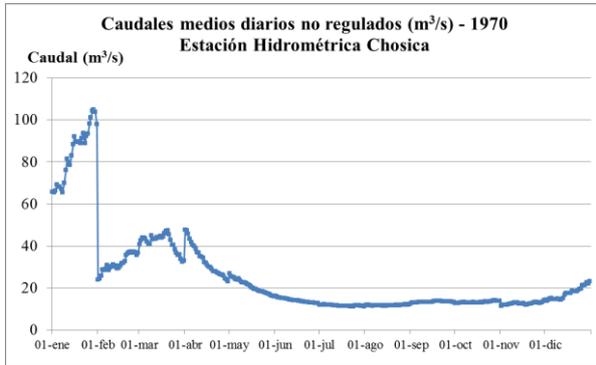
Anexo 3: Caudales Medios Mensuales (1965 – 2014) – Estación Tamboraque.

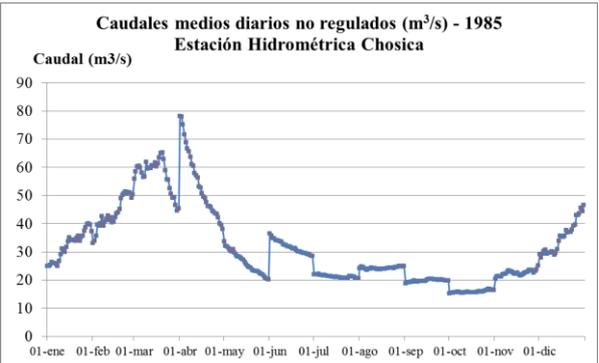
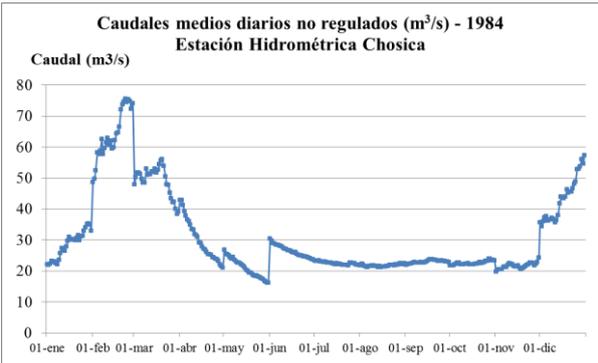
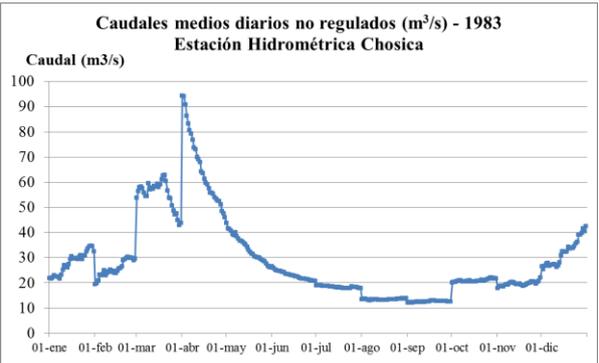
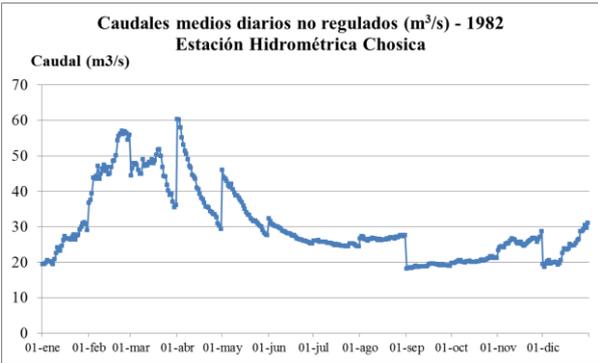
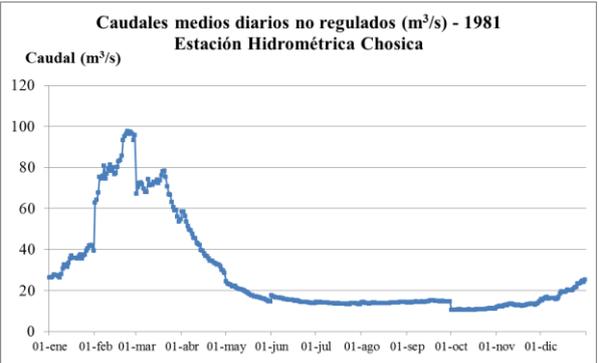
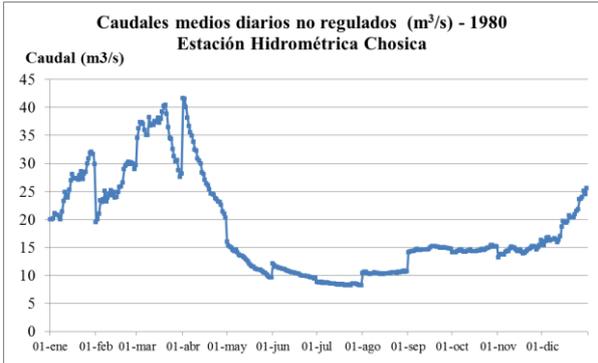
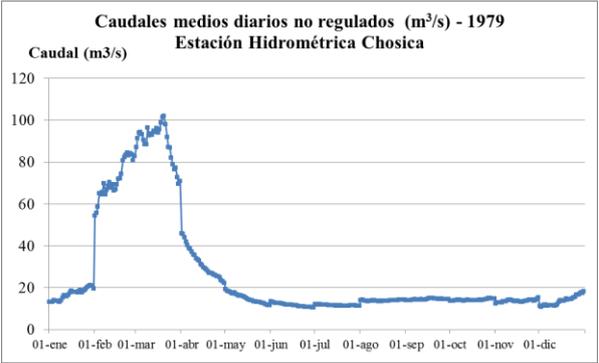
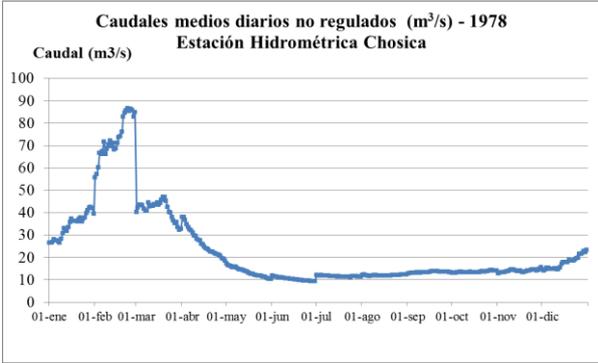
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1965	9,81	22,54	20,32	10,22	8,39	6,13	6,13	4,82	4,93	5,86	6,75	8,31
1966	14,47	10,98	15,95	9,46	8,79	8,99	5,66	4,97	5,01	5,97	7,21	9,57
1967	8,69	34,68	29,65	14,08	10,17	10,97	8,22	5,46	5,25	6,15	6,6	7,21
1968	9,31	8,53	12,71	8,1	6,9	7,3	5,27	4,2	4,22	4,85	4,44	6,93
1969	6,5	9,22	14,84	11,23	6,57	5,97	4,68	4,26	4,05	5	5,59	14,96
1970	32,61	18,34	15,81	12,84	10,89	8,64	7,01	5,91	6,84	7,62	7,52	11,06
1971	16,27	20,47	34,95	15,26	9,65	7,67	6,41	5,49	5,5	6,3	6,32	9,17
1972	14,55	23,02	42,41	25,09	11,27	8,46	7,31	6,5	6,52	7,17	7,39	9,46
1973	23,03	31,41	32,35	27,92	13,25	9,81	7,97	6,98	6,99	8,22	9,53	18,11
1974	26,73	29,38	31,48	21,14	11,53	9,63	7,62	6,41	6,37	6,27	7,44	8,04
1975	10,44	13,46	31,23	17,41	11,13	8,36	6,05	5,96	6,82	6,39	7,5	8,53
1976	19,74	28,8	26,72	16,32	10,87	8,81	6,61	6,18	6,28	6,8	8,34	10,49
1977	11,77	25,96	18,88	13,15	10,58	7,79	6,43	5,73	6,09	7,04	10,66	10,33
1978	14,65	22,57	15,95	11,33	9,3	7,48	6,65	5,69	6,36	7,03	8,59	9,65
1979	9,07	20,79	23,46	14,21	8,98	7,21	6,15	5,62	6,24	6,47	6,97	7,91
1980	11,29	12,43	13,98	11,46	8,27	6,76	5,54	5,11	5,8	9,47	9,19	11,07
1981	16,07	35,26	31,47	14,71	10,49	7,97	6,59	6,06	5,57	7,6	9,71	12,13
1982	17,33	37,46	24,2	17,16	10,56	7,05	6,15	5,36	5,13	6,59	10,11	10,1
1983	11,06	10,33	14,88	17,58	10,64	7,86	6,29	6,15	6,61	7,55	7,38	15,4
1984	15,28	37,13	32,04	21,65	12,84	10,38	7,09	5,51	5,87	8,74	9,52	18,32
1985	10,88	17,68	25,84	23,08	11	8,17	5,32	5,48	5,63	5,68	6,35	11,47
1986	24,79	31,12	32,85	25,97	18,19	10,22	8,21	6,79	5,98	6,36	6,9	12,13
1987	27,49	28,14	19,85	11,47	8,78	7,87	6,68	6,58	6,54	7,36	9,05	11,4
1988	19,12	28,22	21,55	21,9	9,96	7,28	6,2	6,06	6,09	6,46	6,9	10,37
1989	22,91	31,94	32,24	22,17	11,41	8,25	6,5	5,85	5,86	6,87	7,15	6,96
1990	15,02	10,93	9,78	8,41	7,35	6,41	5,44	5,07	5,09	7,14	10,93	12,31
1991	12,26	14,35	29,22	13,84	10,11	7,41	6,03	5,49	5,72	5,88	6,51	7,09
1992	10,54	8,7	12,58	9,78	7,32	6,27	5,5	5,2	5,57	6,58	6,39	7,17
1993	15,37	24,21	26,57	15,38	10,81	7,47	6,16	5,58	5,65	7,07	14,97	24,64
1994	26,98	36,22	34,66	26,29	14,62	9,72	7,43	6,27	6,46	6,55	8,05	9,24
1995	14,52	13,72	19,65	15,05	8,86	6,62	5,19	4,43	4,51	5	7,16	8,91
1996	17,76	26,94	25,56	22,76	10,51	7,57	6,57	5,93	5,89	6,01	6,64	8,35
1997	14,52	24,88	14,83	9,72	7,91	6,91	5,07	5,73	5,91	6,12	9,74	15,14
1998	20,34	21,18	24,19	17,74	11,59	10,81	9,32	8,7	8,31	9,43	9,64	10,25
1999	11,62	31,58	24,23	20,01	15,23	11,14	8,89	7,13	7,66	8,23	8,19	14,73
2000	23,12	28	33,91	18,72	15,04	12,05	9,68	8,45	7,51	10,66	8	14,28
2001	30,79	27,35	35,84	21,85	14,1	10,72	8,27	6,89	6,9	6,68	10,23	12,28
2002	13,04	18,42	25,44	18,26	13,55	10,00	8,62	7,40	7,18	8,48	10,87	11,30
2003	16,65	18,70	27,25	18,72	12,75	9,08	7,54	6,44	6,19	6,24	6,62	11,44
2004	9,88	17,59	15,19	12,74	8,91	6,77	5,27	4,51	4,68	6,58	11,59	15,66
2005	18,22	16,30	18,37	16,24	10,89	8,48	7,54	7,07	6,91	6,84	6,97	9,09

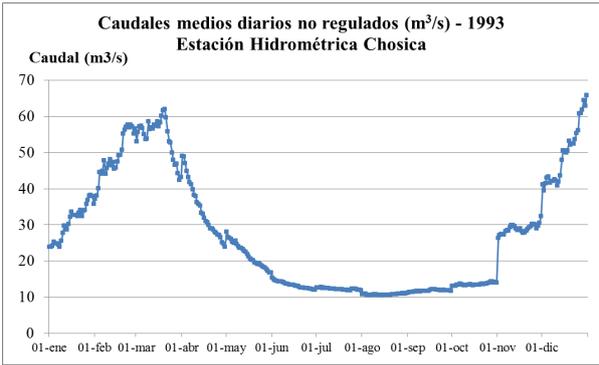
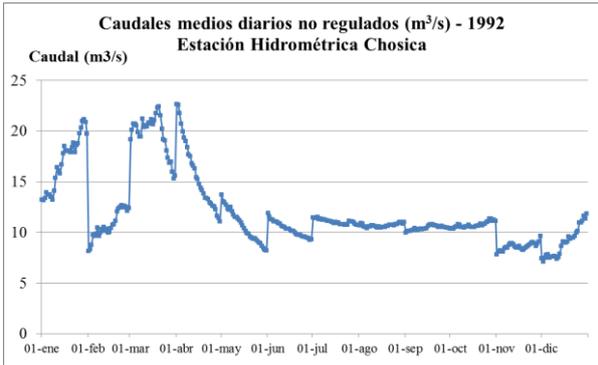
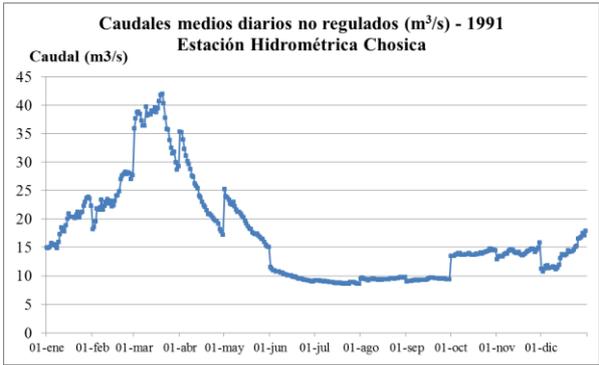
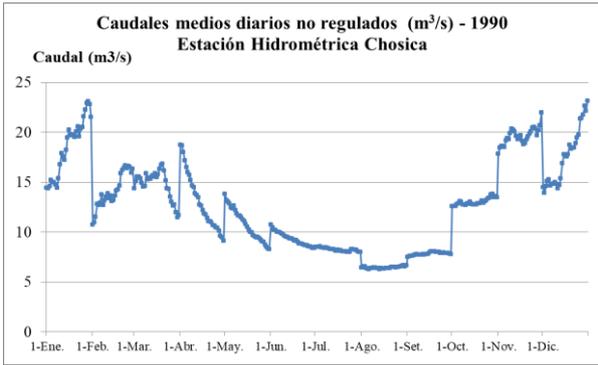
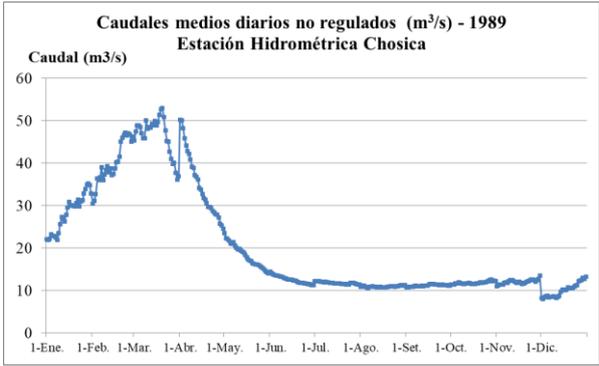
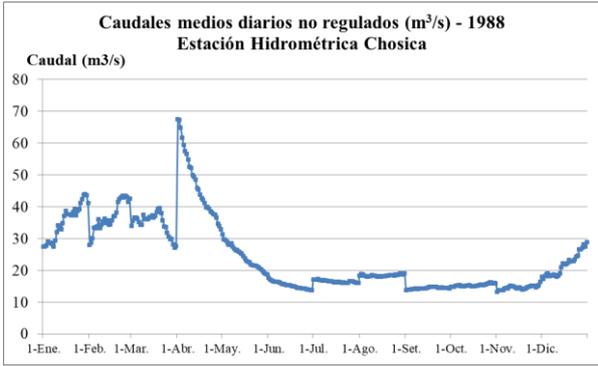
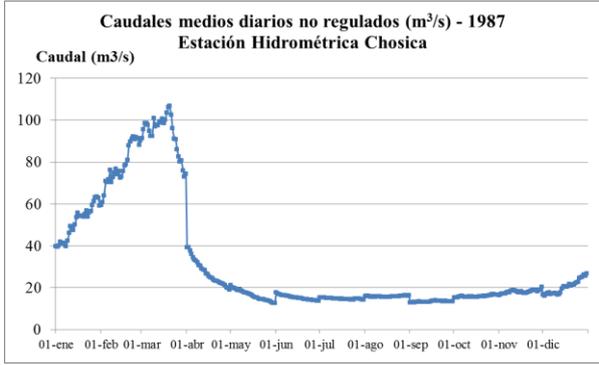
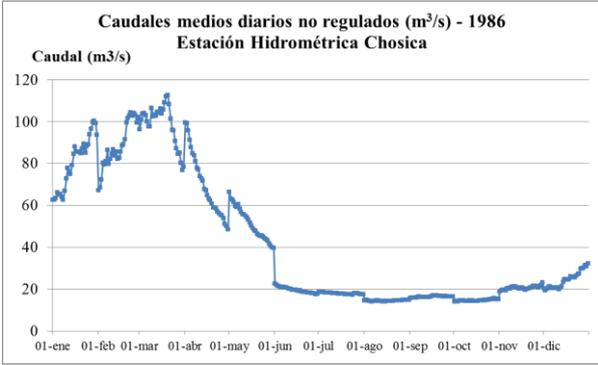
Continuación.

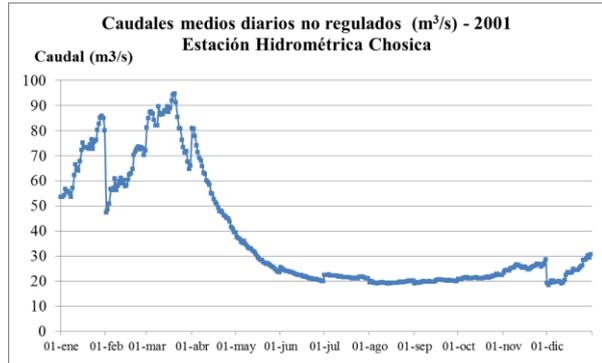
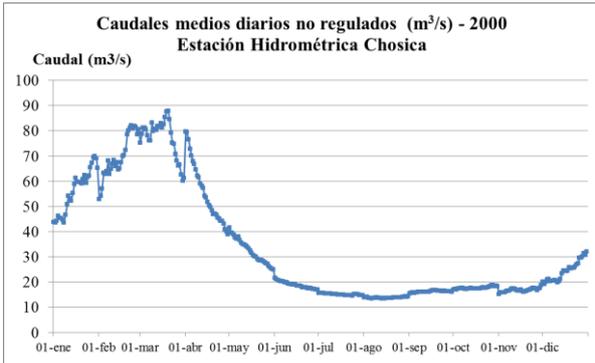
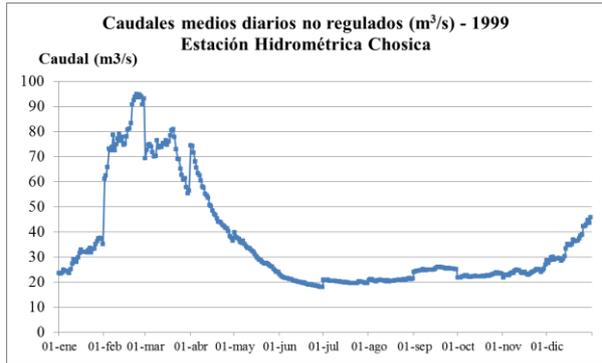
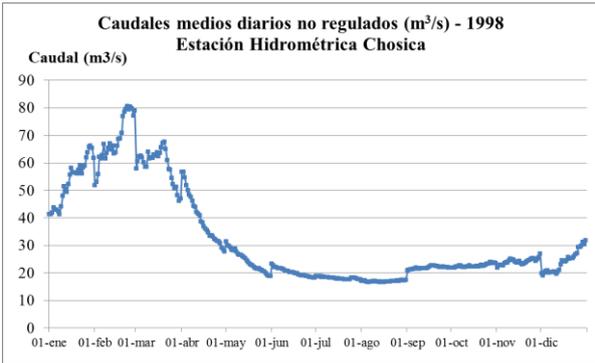
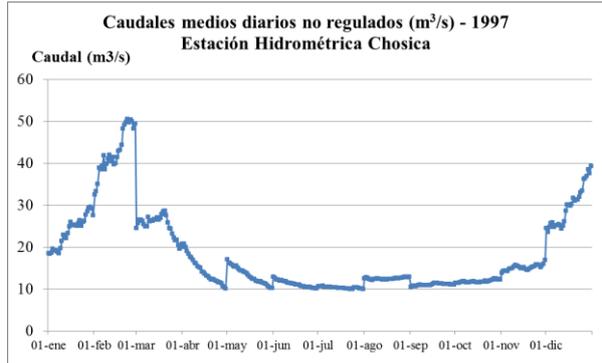
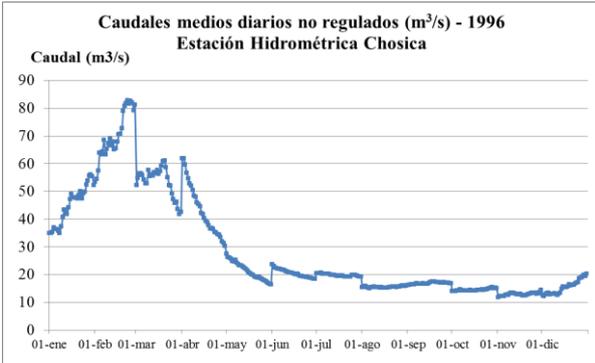
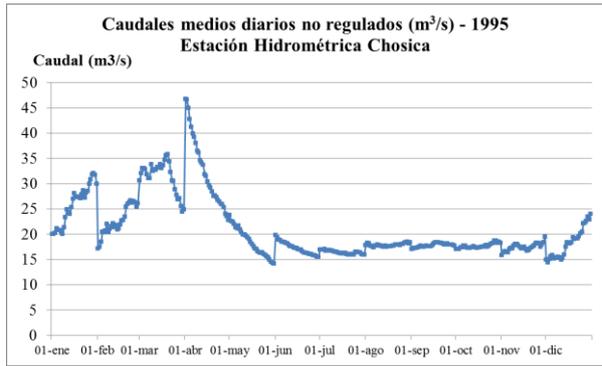
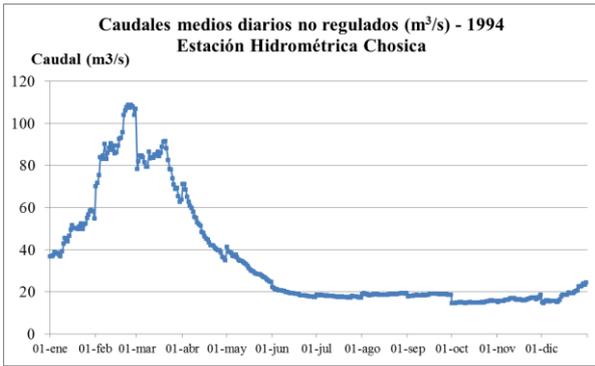
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2006	16,04	21,12	27,58	24,16	12,51	9,14	7,26	6,59	6,08	6,63	9,82	14,44
2007	21,16	22,05	29,60	23,27	14,17	9,65	7,95	6,84	6,66	7,26	8,02	9,18
2008	16,90	23,05	19,60	12,36	8,47	6,86	6,09	5,56	5,98	6,49	6,84	10,29
2009	16,94	29,71	27,49	24,09	13,88	9,91	7,98	6,97	6,81	8,35	14,30	21,00
2010	25,62	24,04	28,01	20,31	13,98	10,34	8,54	7,73	7,20	7,18	7,40	16,50
2011	25,12	32,29	28,56	26,81	15,42	11,19	8,72	7,47	7,71	7,14	8,22	15,10
2012	17,88	31,99	26,61	28,01	15,41	9,71	7,62	6,50	6,64	7,90	10,72	14,90
2013	17,90	26,05	30,84	18,18	12,38	8,95	7,08	6,49	6,77	7,72	8,43	13,45
2014	18,73	19,24	31,07	16,67	13,85	9,77	8,12	6,76	6,87	7,41	8,63	14,25

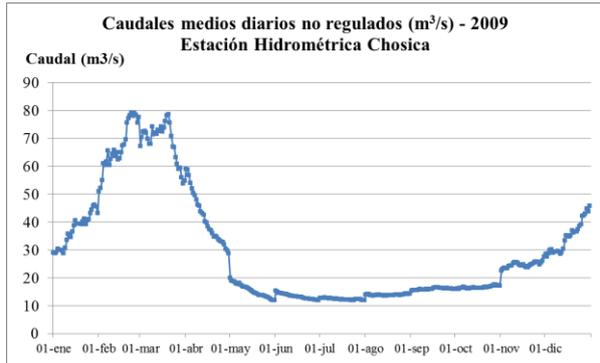
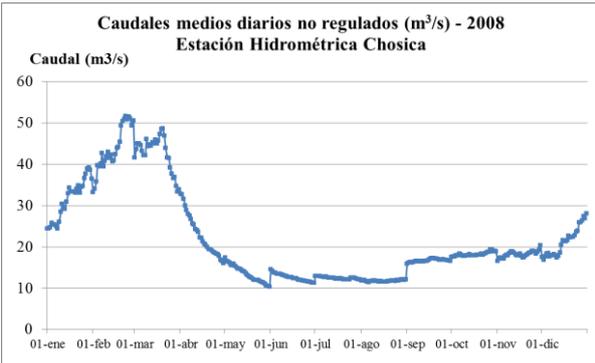
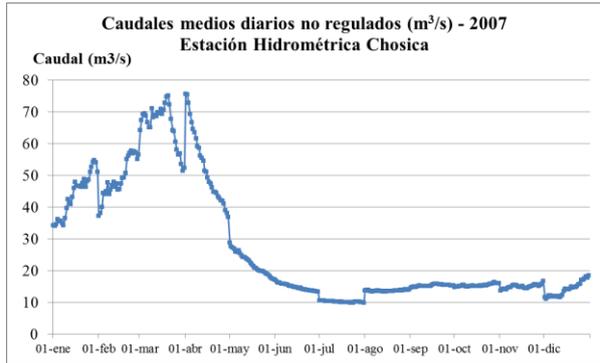
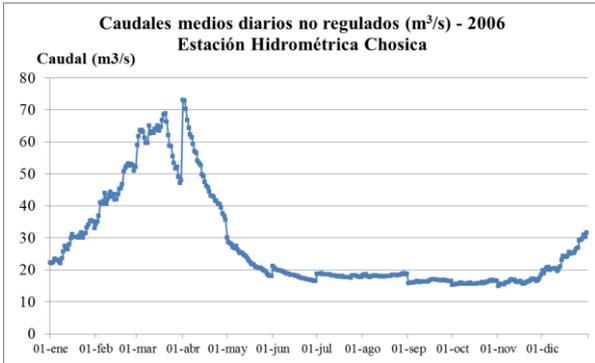
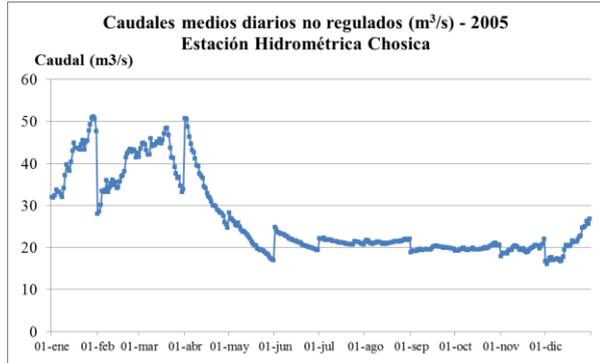
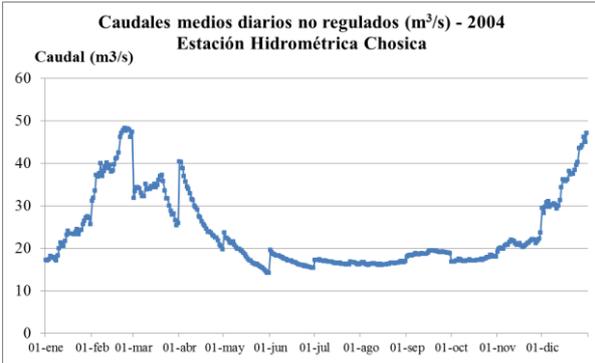
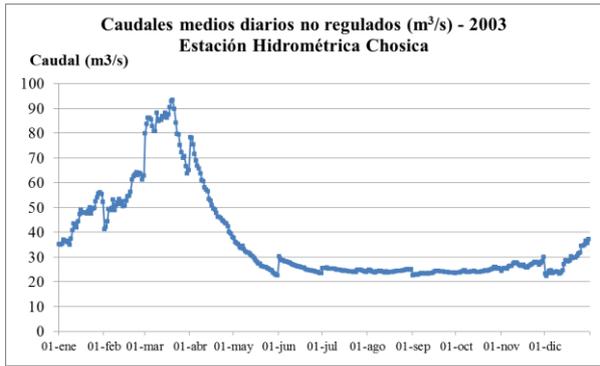
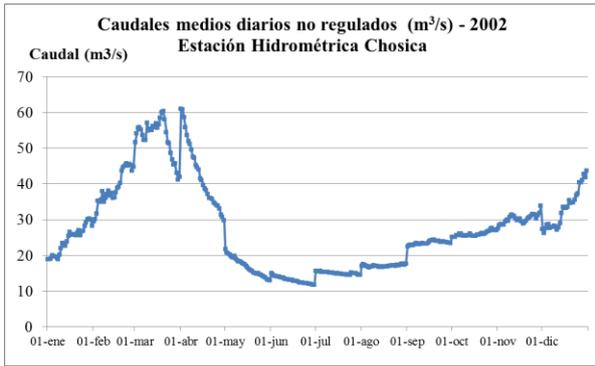
Anexo 4: Hidrogramas de Caudales Medios Diarios (CMD) no regulados - Estación Hidrométrica Chosica.





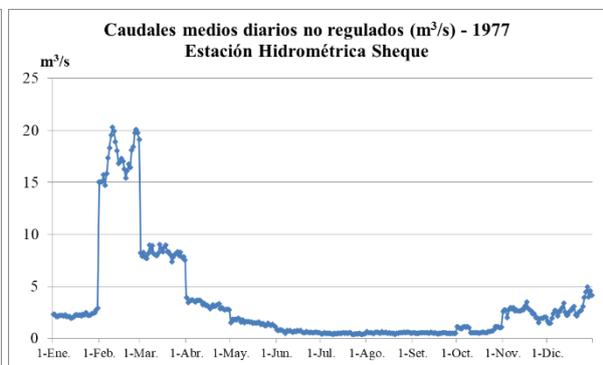
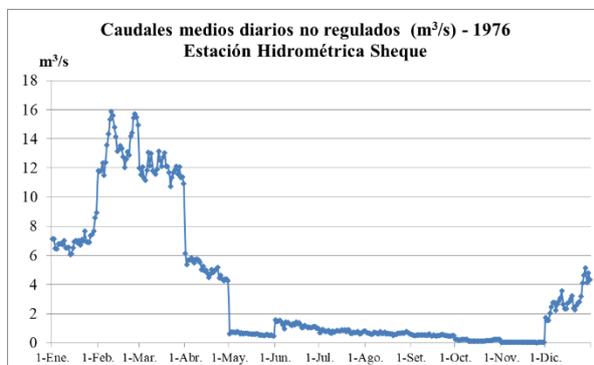
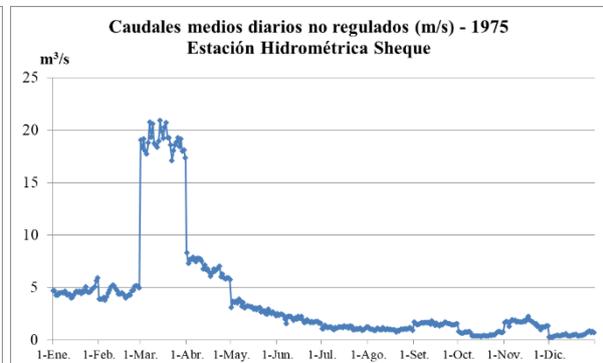
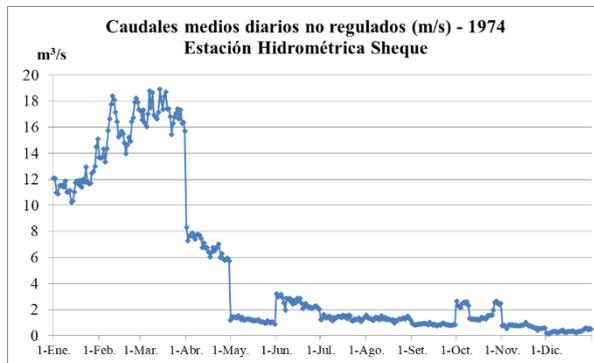
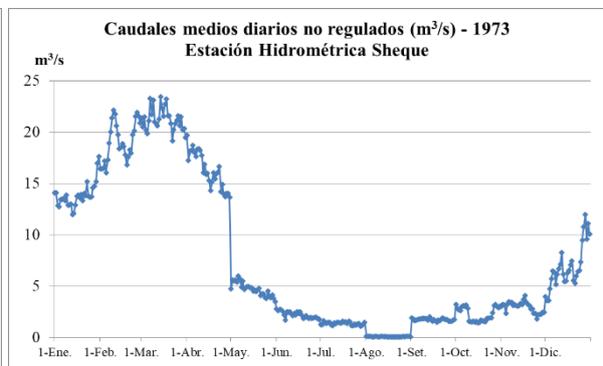
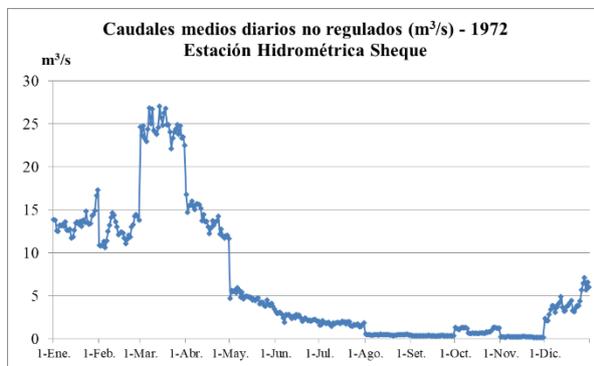
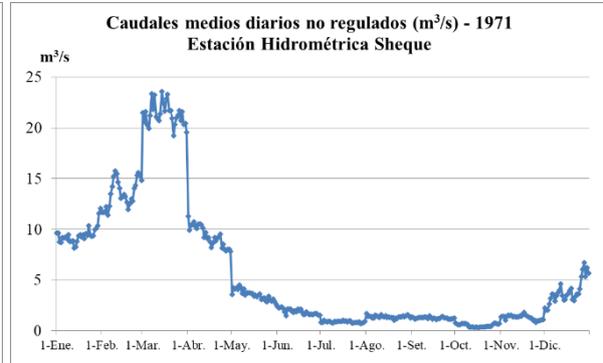
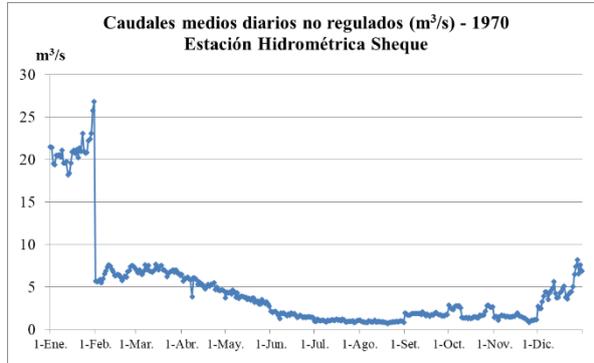


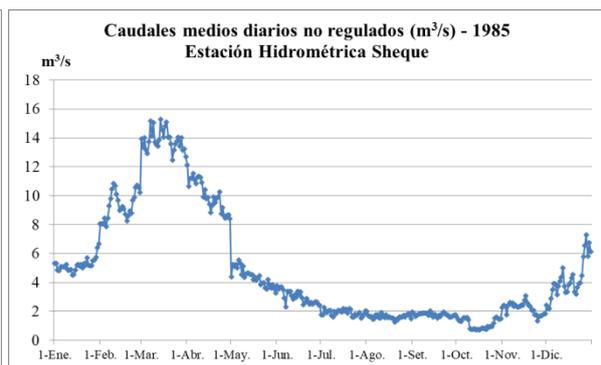
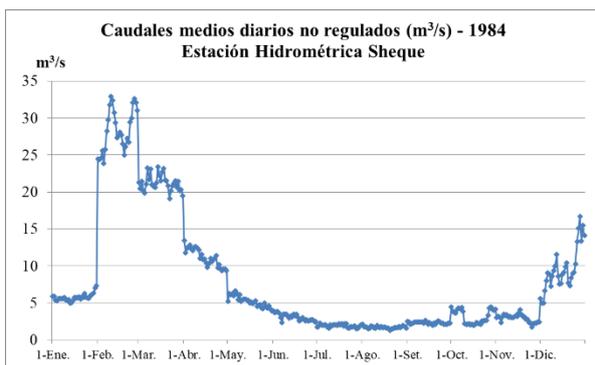
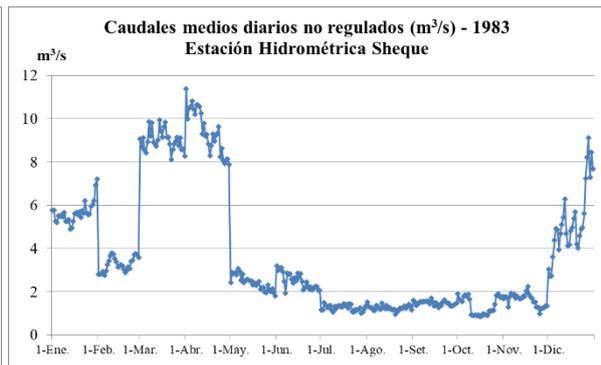
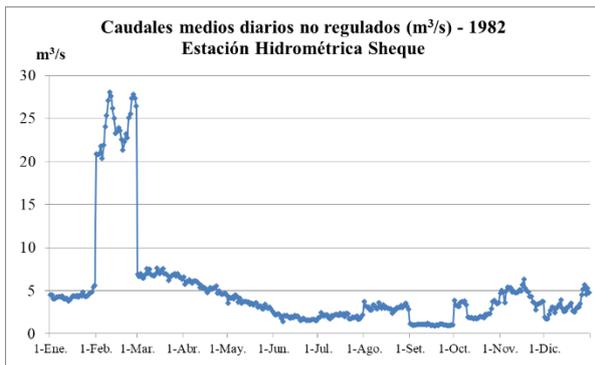
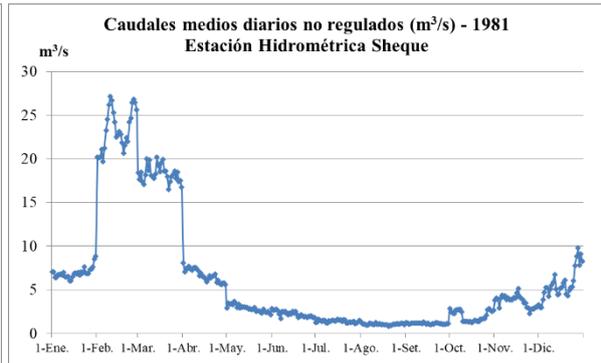
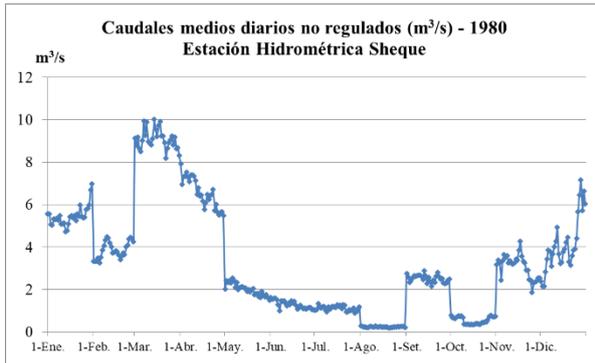
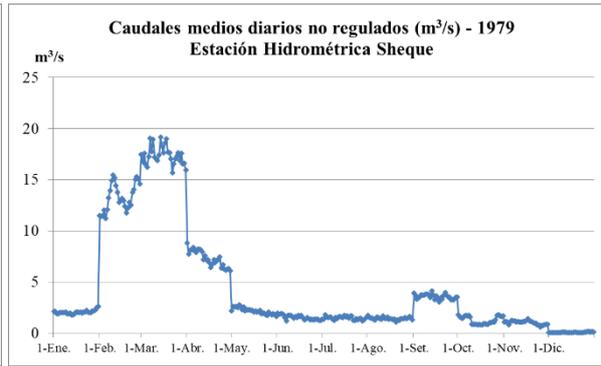
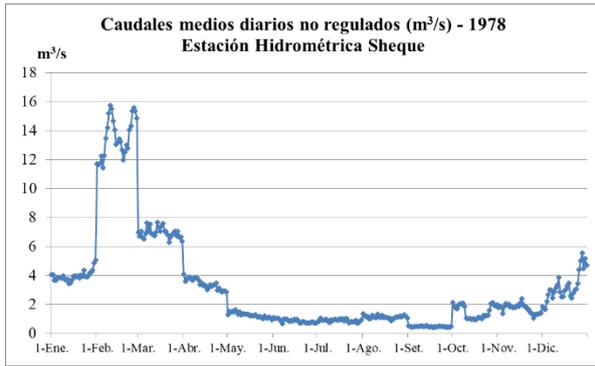


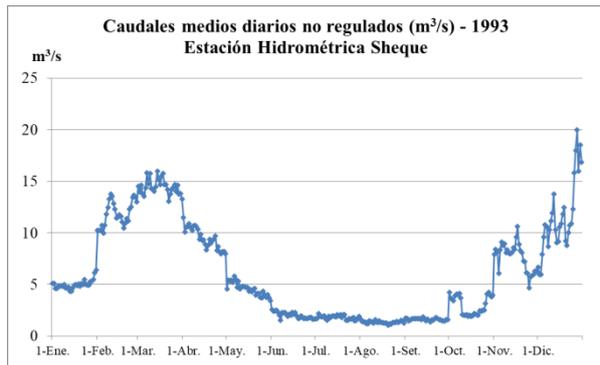
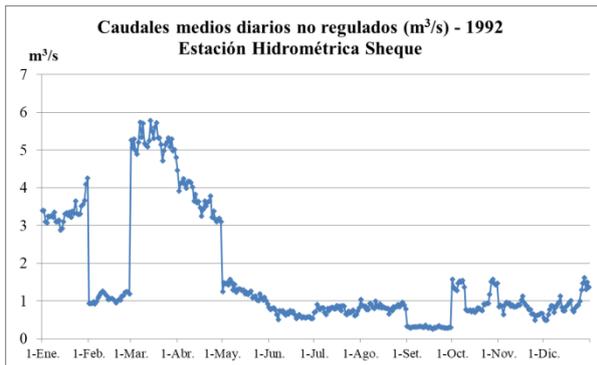
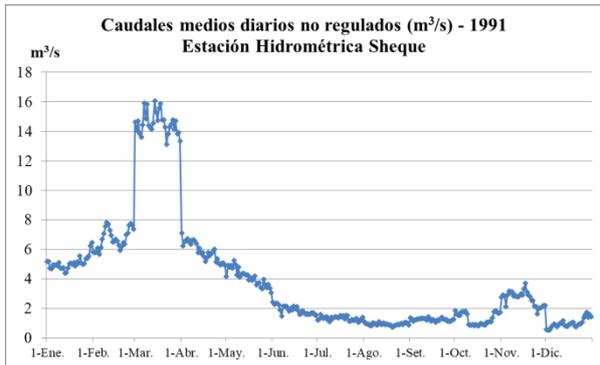
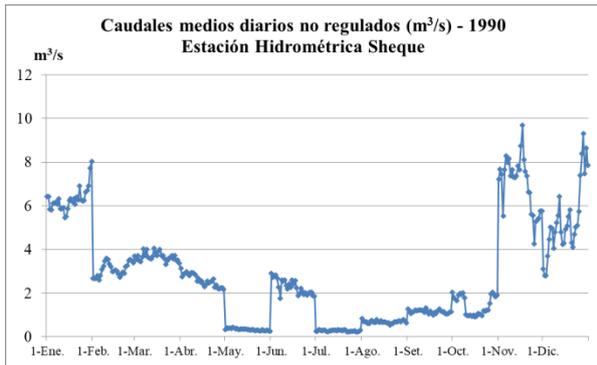
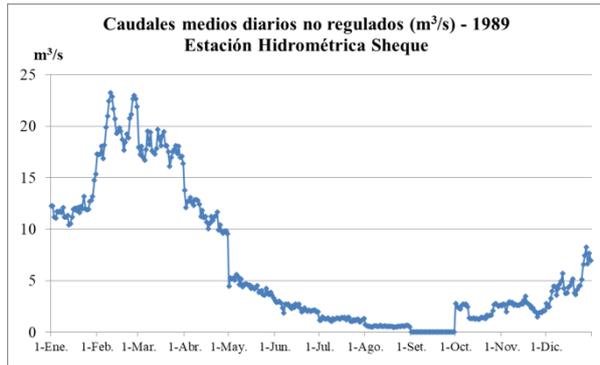
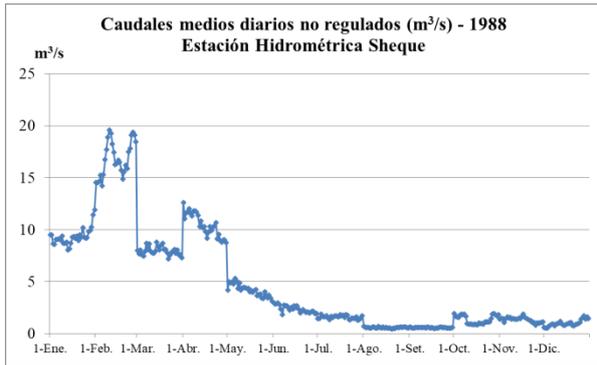
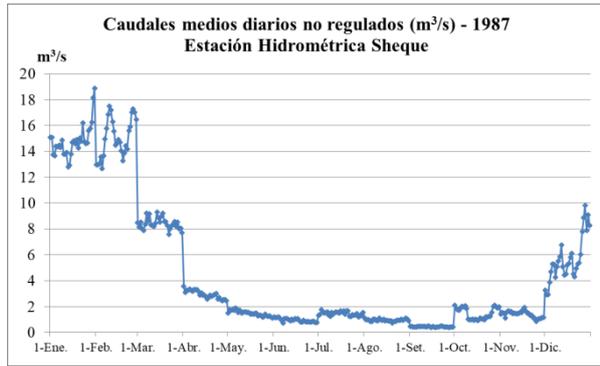
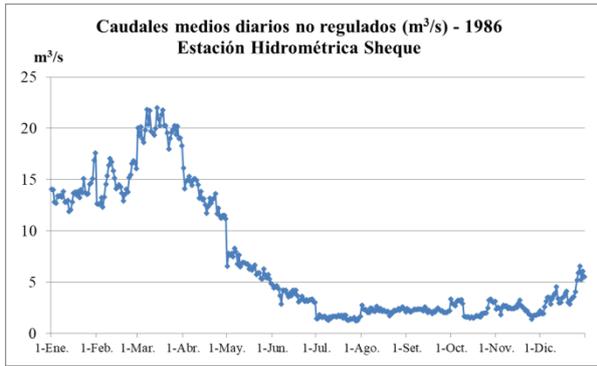


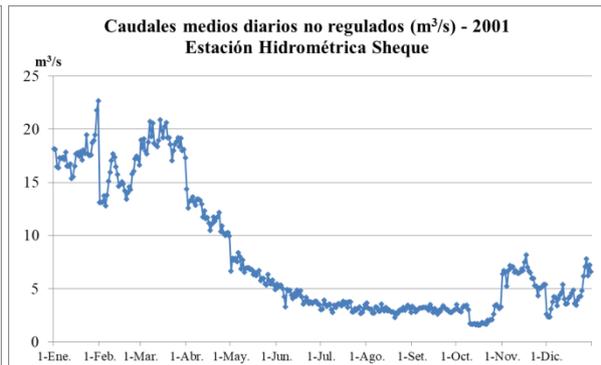
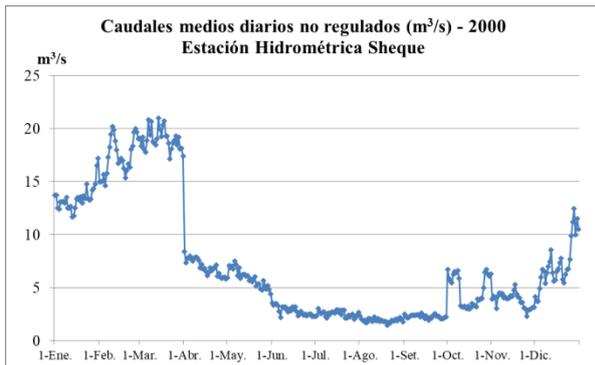
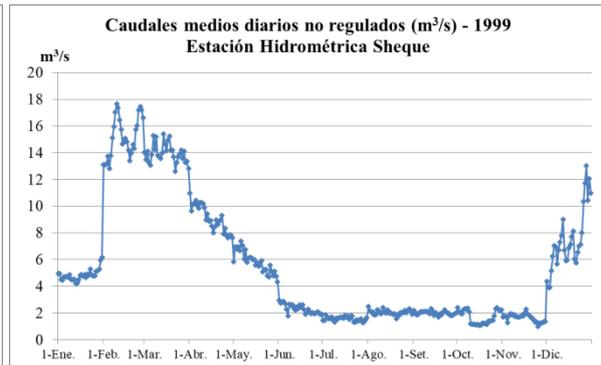
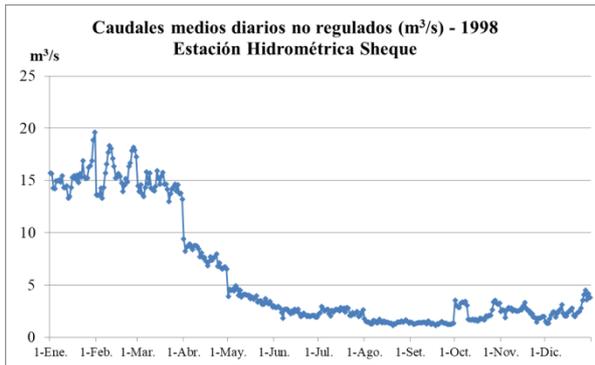
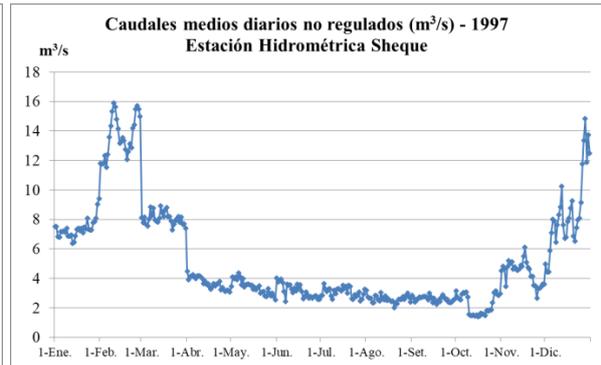
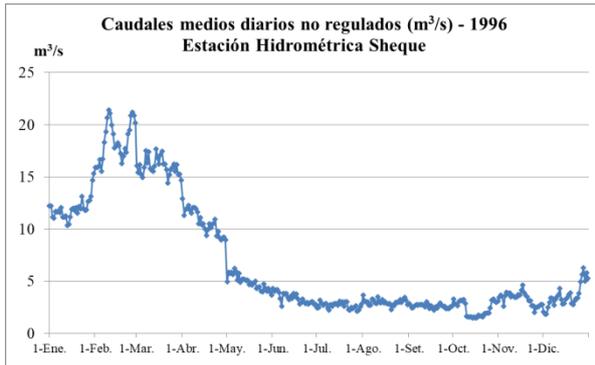
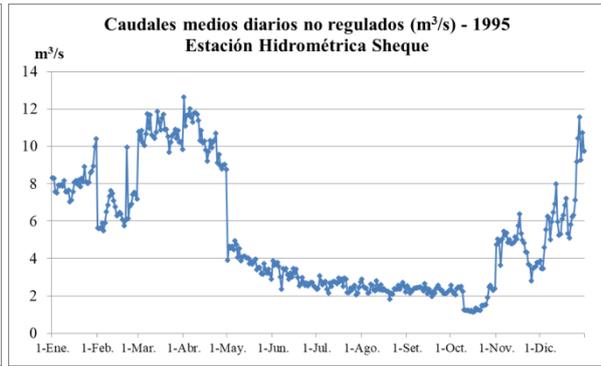
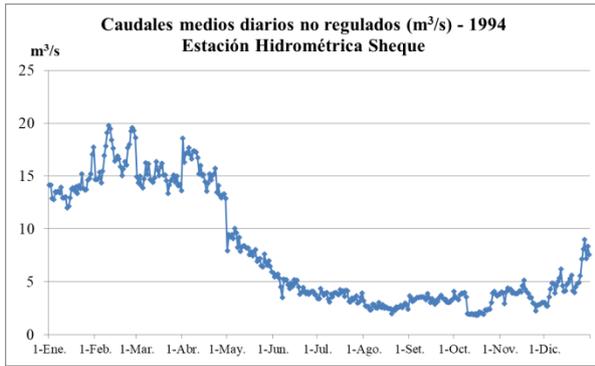
Anexo 5: Hidrogramas de caudales medios diarios (CMD) no regulados - Estación Hidrométrica Sheque.

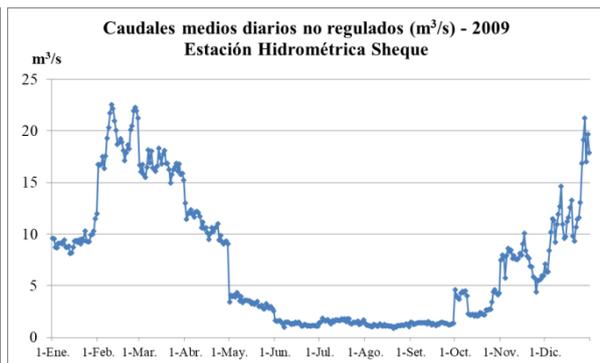
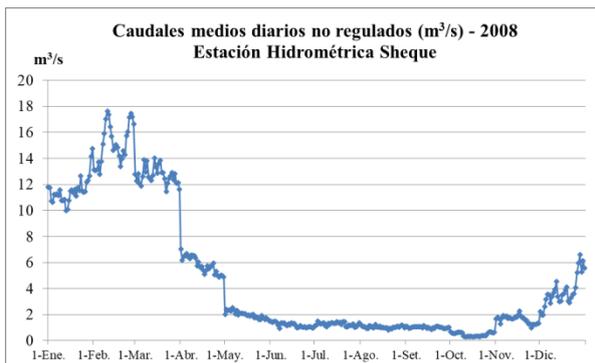
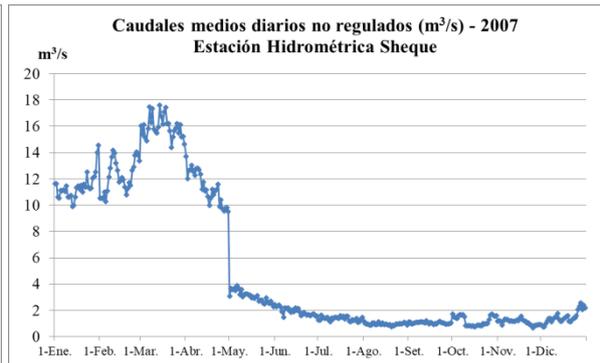
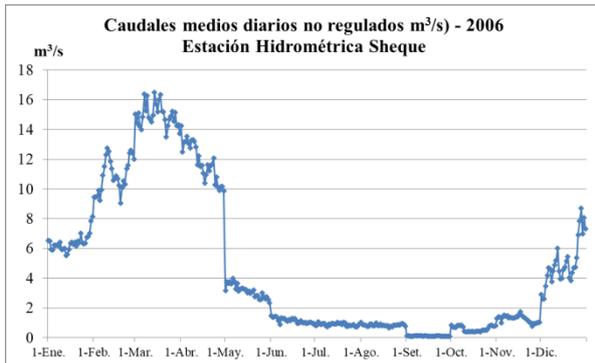
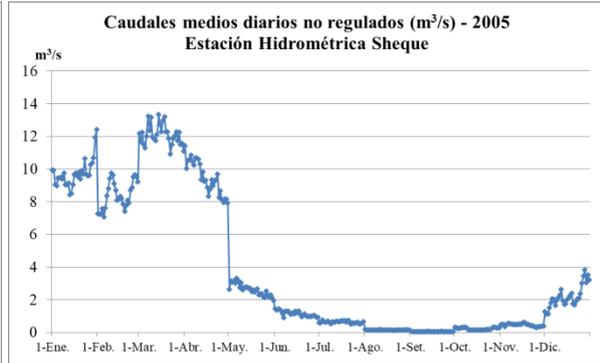
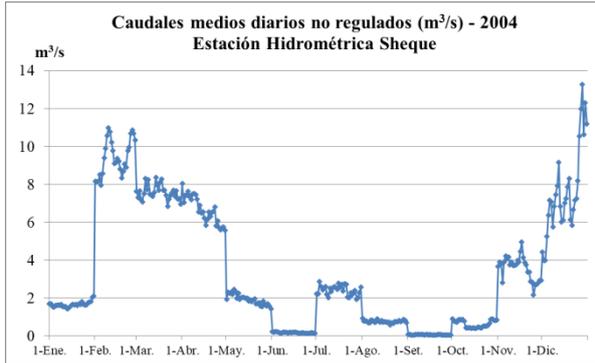
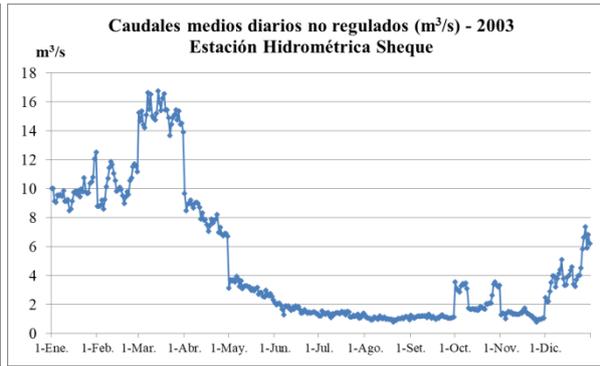
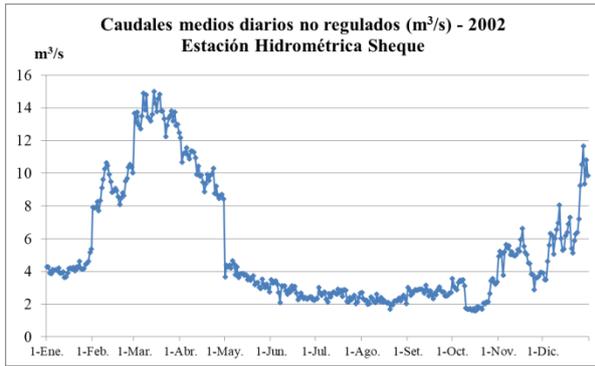
FUENTE: Elaboración propia.

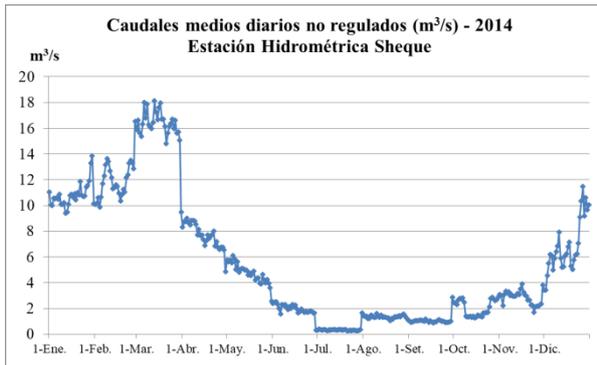
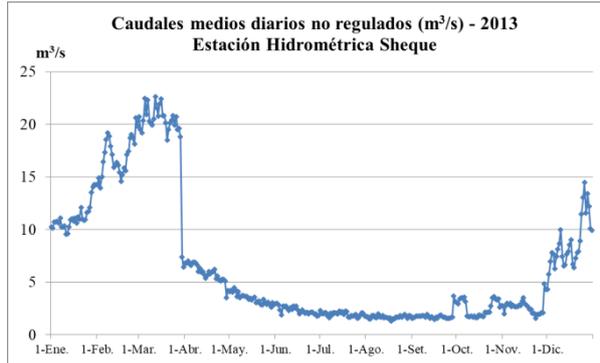
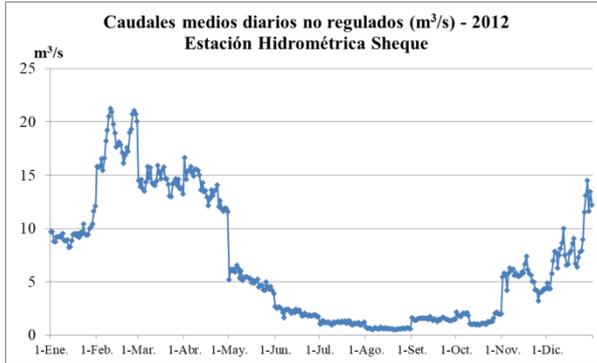
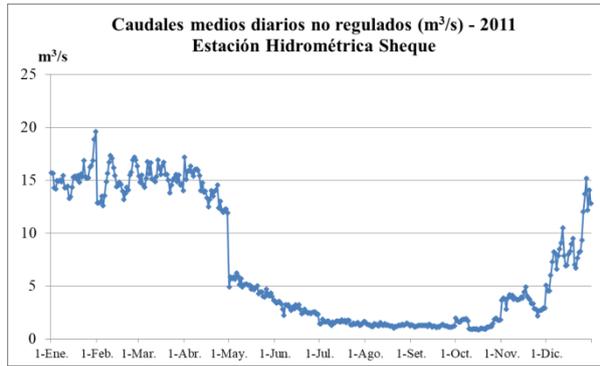
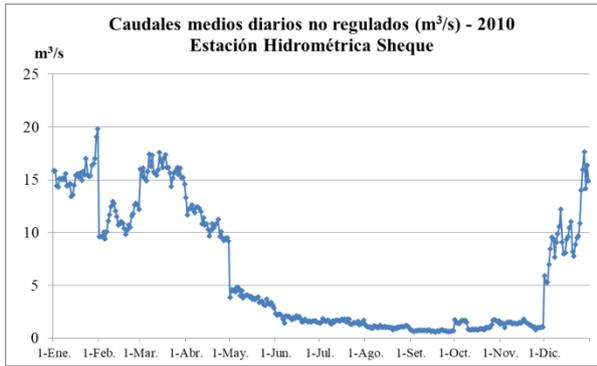




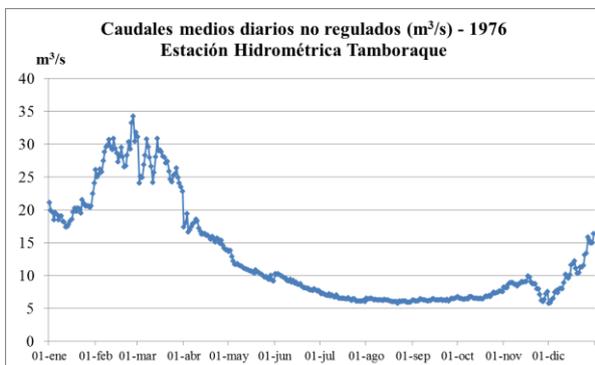
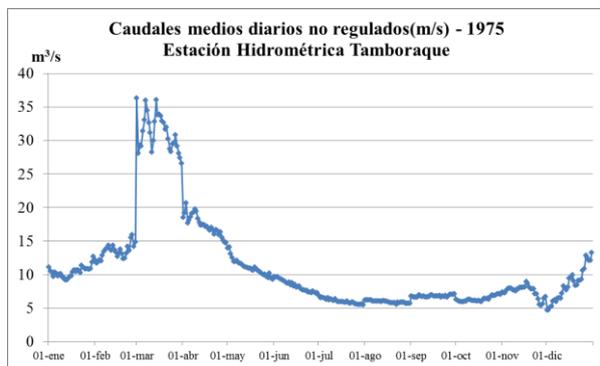
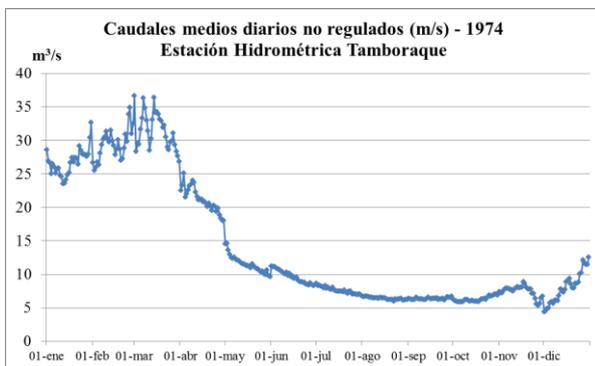
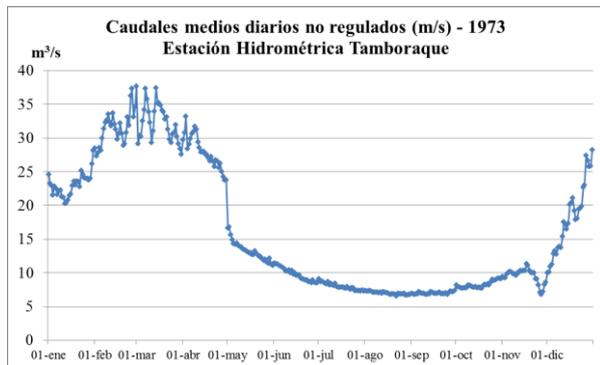
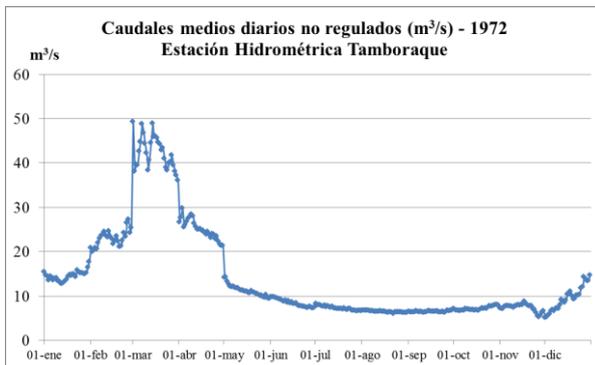
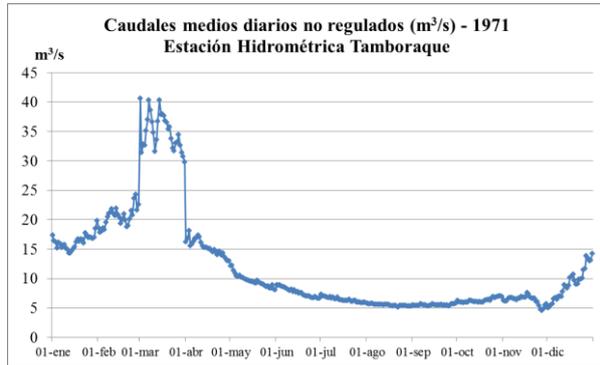
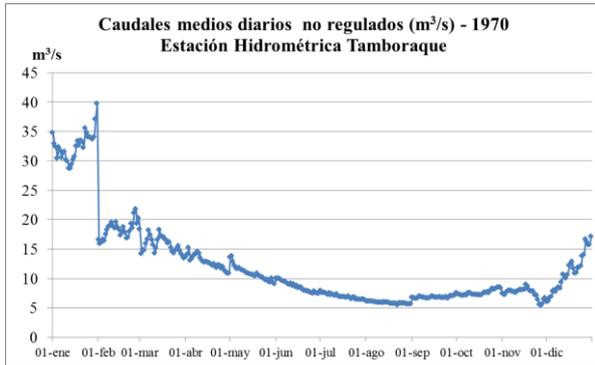


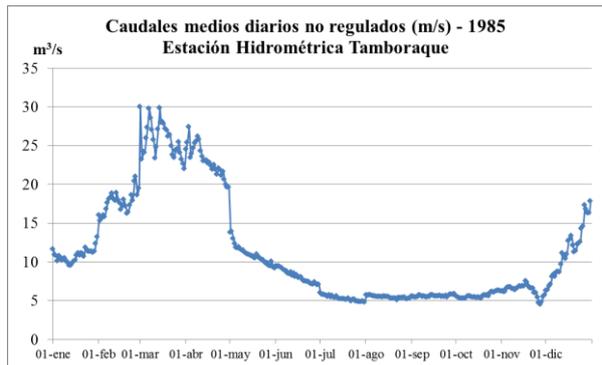
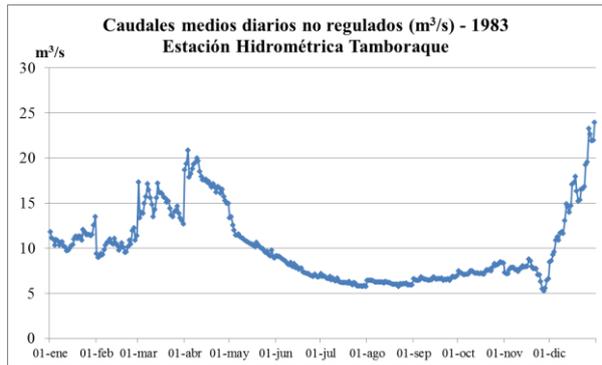
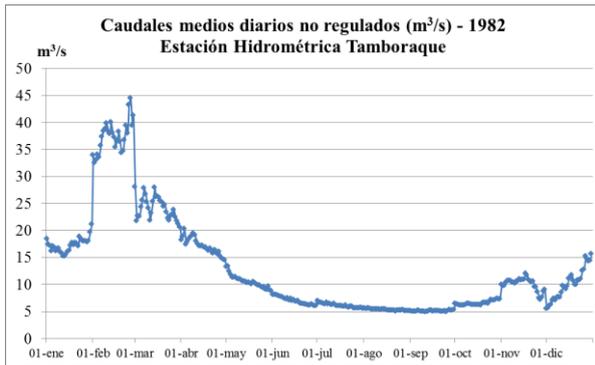
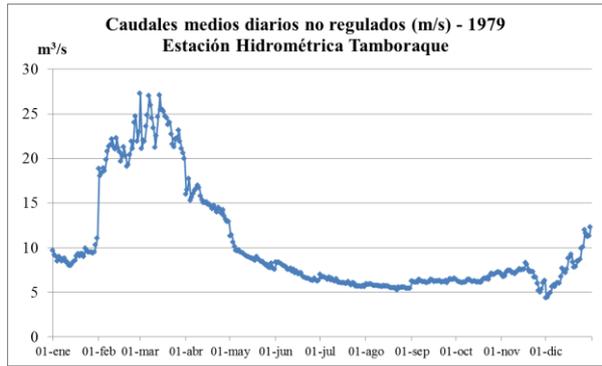
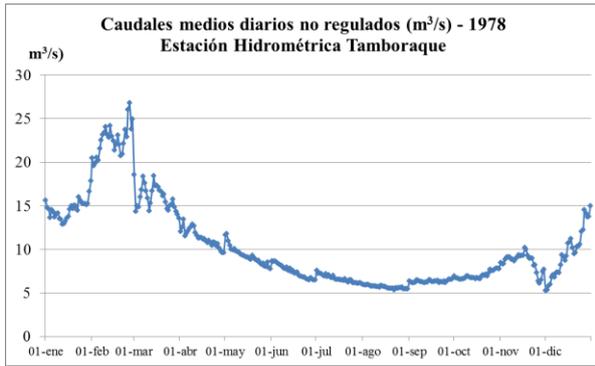


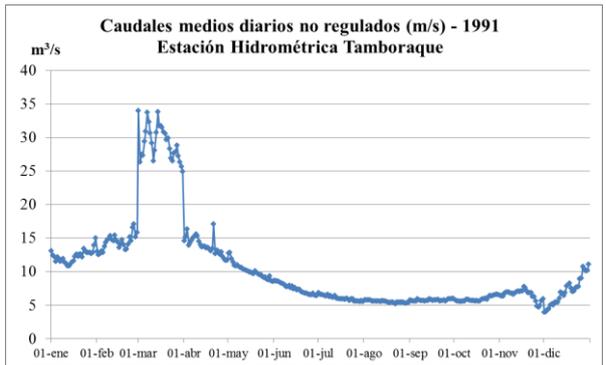
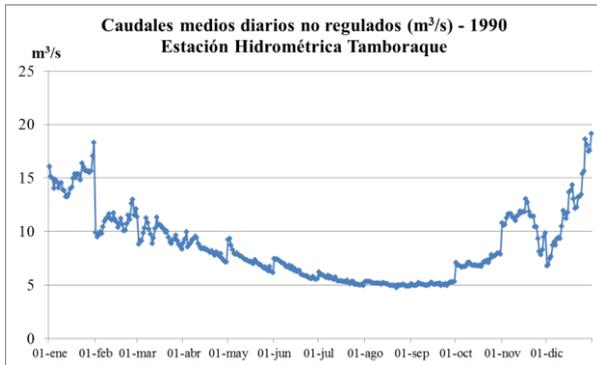
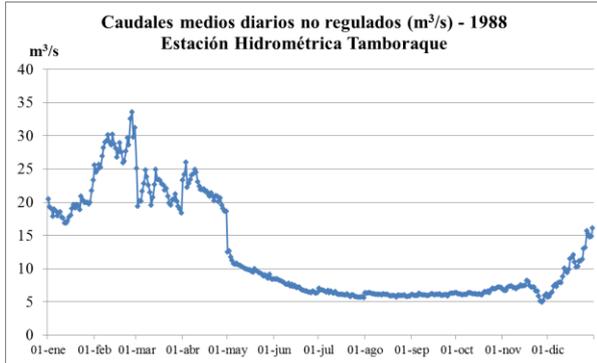
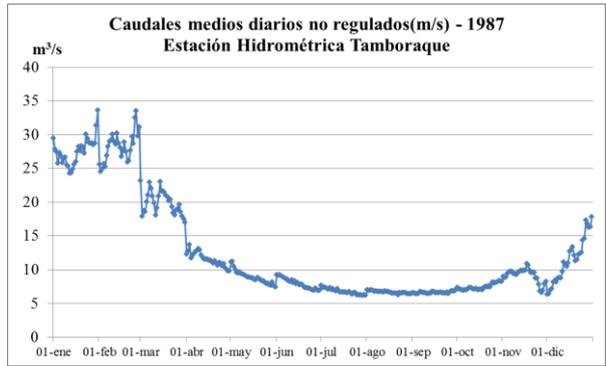
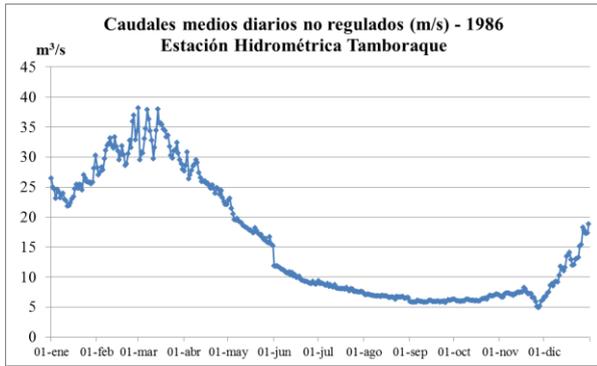


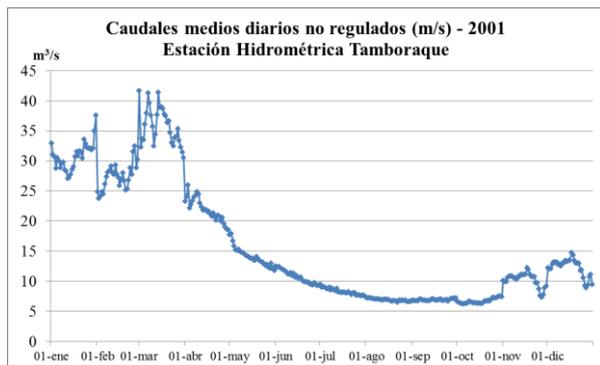
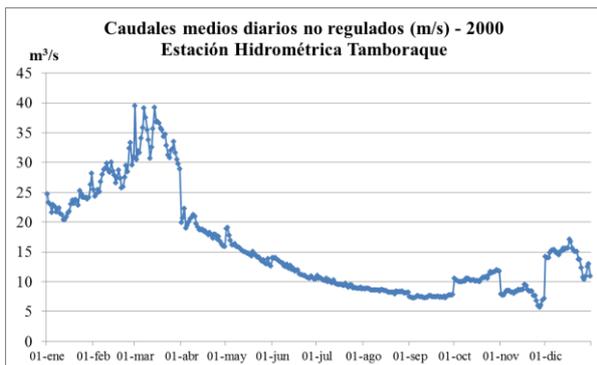
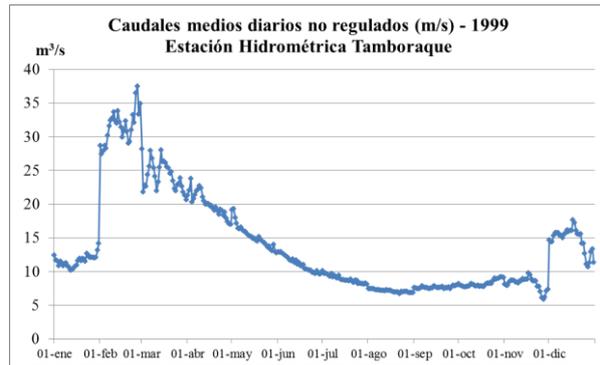
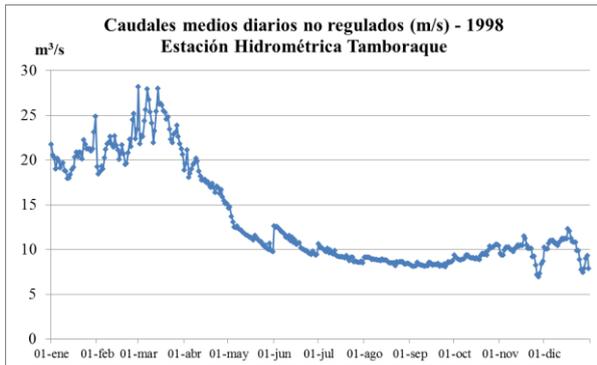
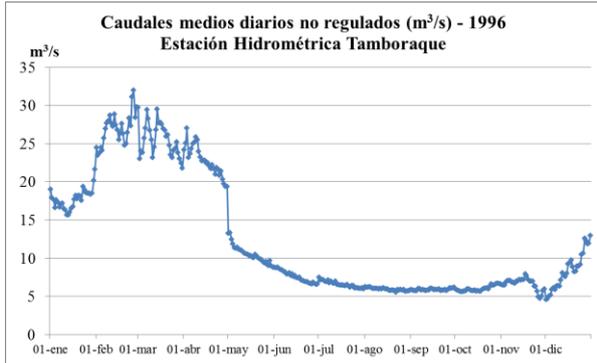
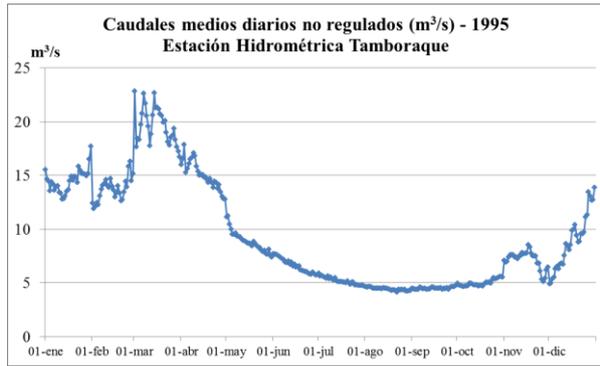
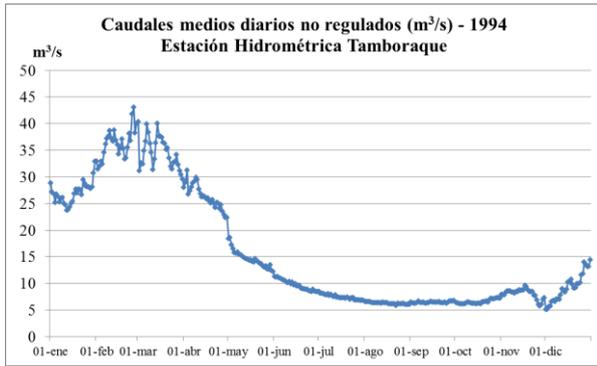


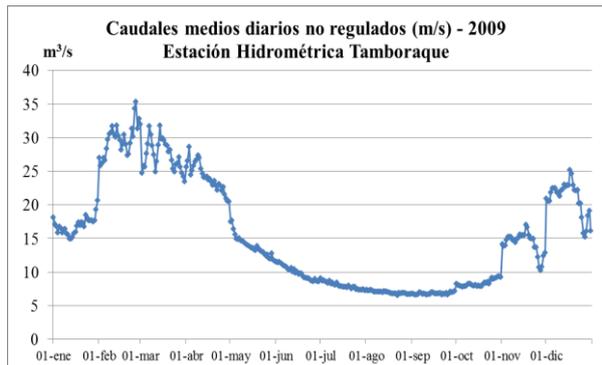
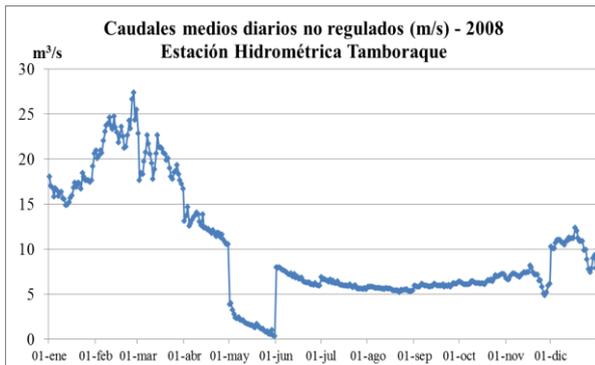
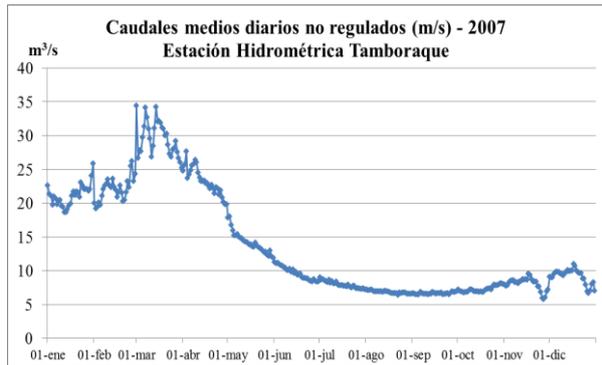
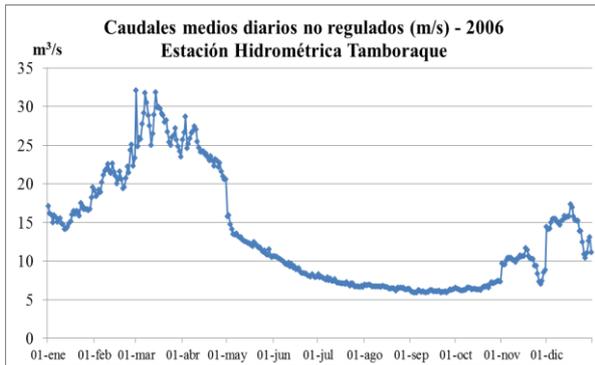
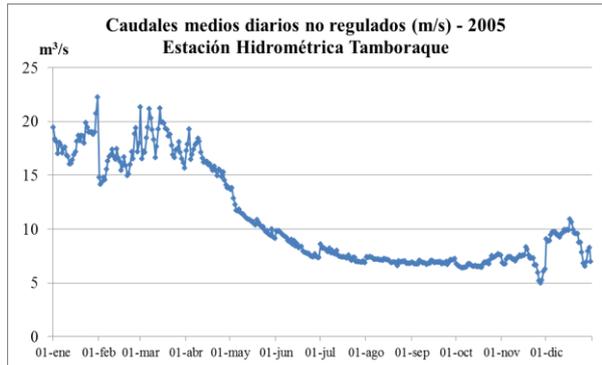
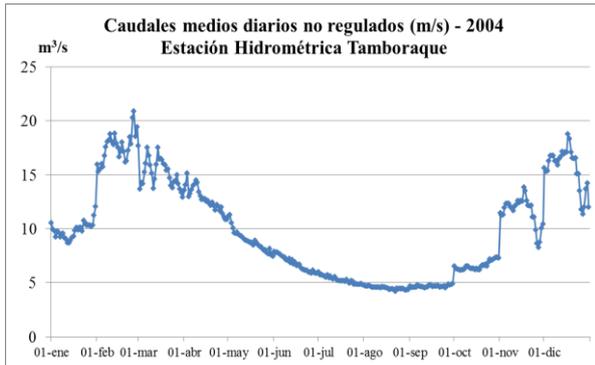
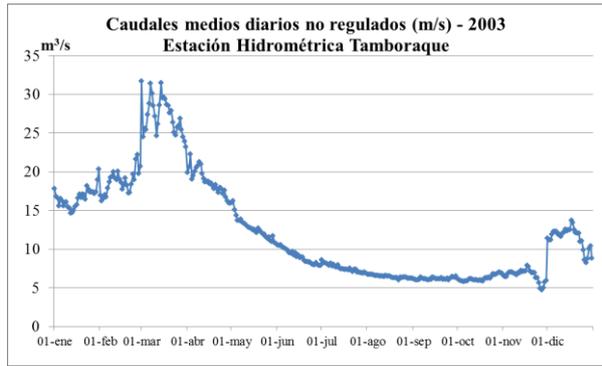
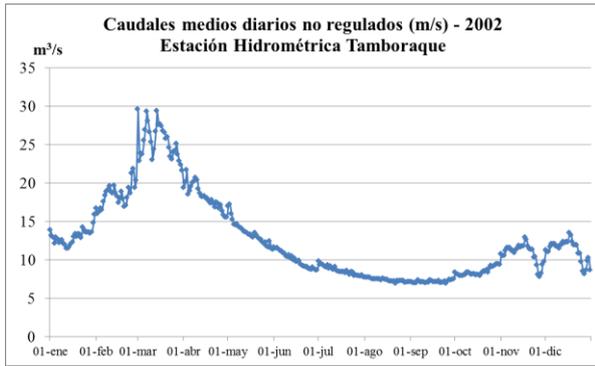
Anexo 6: Hidrogramas de caudales medios diarios (CMD) no regulados - Estación Hidrométrica Tamboraque.

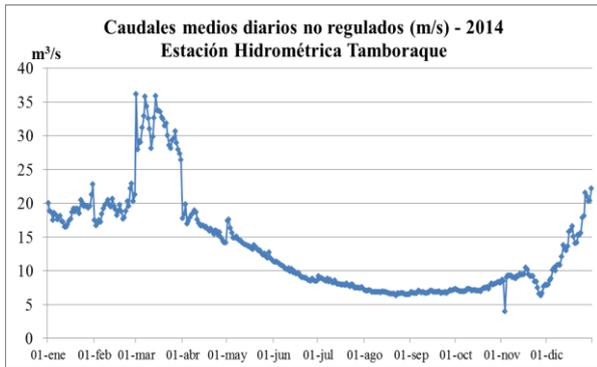
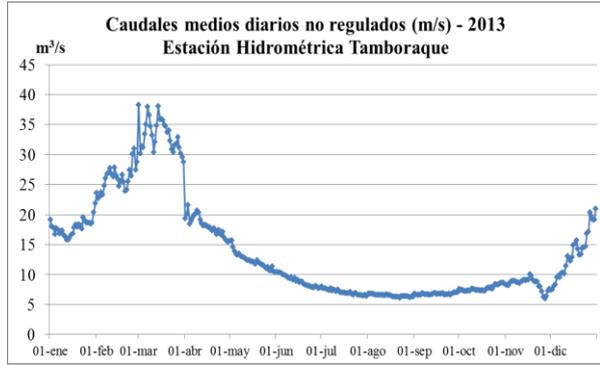
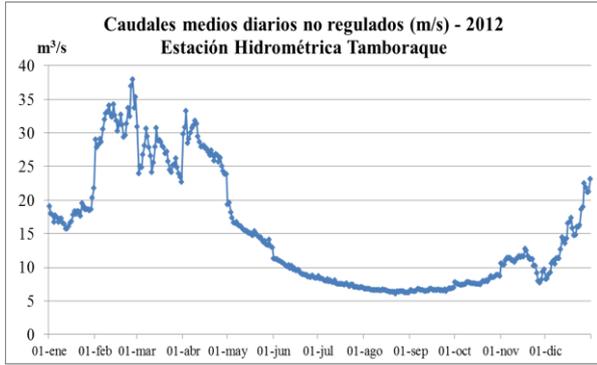
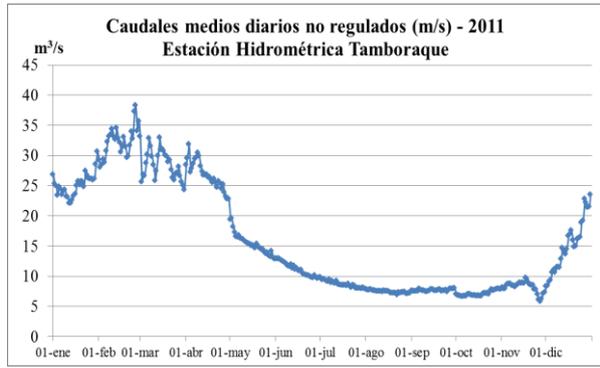
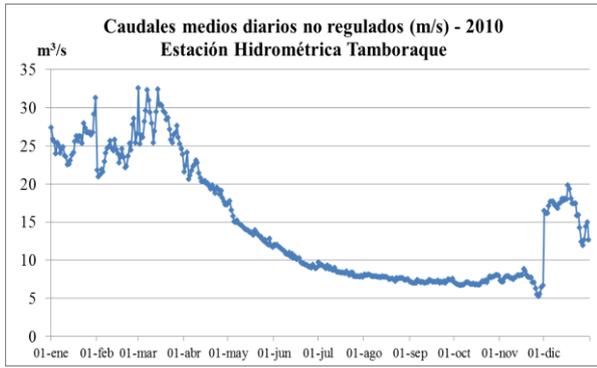












Anexo 7: Cálculo de probabilidades de ocurrencia de caudales medios mensuales.

Estación Hidrométrica Chosica. Periodo 1990 – 2009.

p(%)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
5	68,83	92,37	83,12	56,52	32,21	26,16	24,72	24,32	25,06	25,98	30,18	49,9
10	56,1	80,58	81,84	55,54	31,8	22,22	21,68	21,34	23,6	24,46	28,88	35,73
15	53,12	70,28	80,28	54,64	30,83	21,55	21,33	20,72	23,49	22,65	26,76	34,74
20	47,13	69,77	77,16	52,84	30,4	20,47	20,02	19,47	21,91	22,49	25,6	34,61
25	45	68,4	71	51,95	29,2	20,21	19,77	18,74	19,96	21,5	24,71	33,1
30	44,94	67,25	68,94	50,98	24,36	19,96	18,16	18,25	19,7	19,85	24,14	29,78
35	43,87	62,37	65,9	49,68	23,27	19,23	18,15	17,88	18,86	18,21	23,91	28,25
40	41,04	54,37	60,41	43,25	22,3	18,83	17,71	17,06	18,46	17,67	21,1	24,28
45	37,08	49,02	59,29	42,53	21,9	18,34	16,67	17	17,8	17,65	19,7	24,12
50	31,4	48,95	54,41	41,24	21,65	17,23	16,42	16,41	16,84	17,36	19,6	23,99
55	30,72	45,17	53,56	39,61	21,32	17,01	15,08	15,48	16,67	16,6	18,21	23,26
60	30,09	43,83	52,91	35,38	19,49	14,72	15	13,88	16,47	15,91	17,44	21,25
65	28,44	42,86	42,73	34,18	18,37	13,31	12,45	13,79	16,23	15,3	16,79	20,29
70	25,74	41	42,57	32,62	18,3	13,31	12,38	13,62	16,01	14,94	16,37	18,3
75	24,27	38,77	36,8	28,21	16,8	13,02	12,25	12,48	15,22	14,46	16,36	18,19
80	23,73	36,83	32,62	24,65	15,44	12,57	11,05	11,78	11,75	13,95	15,11	17,55
85	22,01	23,97	31,4	22,89	13,45	11,18	10,3	10,74	11	13,56	14,92	15,36
90	19,13	22,6	25,18	15,81	13,21	10,3	10,16	10,67	10,42	13,01	14,14	13,98
95	18,53	14,13	19,66	14,52	10,7	9,99	8,85	9,47	9,34	11,81	12,88	13,57
100	16,96	10,73	14,75	13,08	10,59	9,31	8,24	6,44	7,82	10,72	8,6	8,98

Anexo 8: Cálculo de probabilidades de ocurrencia de caudales medios mensuales.

Estación Hidrométrica Sheque. Periodo 1990 – 2014.

p(%)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
4	17,78	19,38	20,52	15,41	7,90	4,59	3,68	3,03	3,37	4,74	7,67	12,17
8	15,54	18,42	19,01	14,21	6,58	4,30	3,31	3,01	3,06	3,23	7,27	11,44
12	15,39	18,28	18,92	13,79	5,90	3,39	3,08	2,61	2,75	2,96	7,00	10,13
16	15,36	17,37	16,59	11,90	5,80	3,17	2,67	2,61	2,63	2,86	5,31	8,70
20	13,89	17,02	16,45	11,79	5,16	3,05	2,57	2,39	2,61	2,57	4,93	8,50
24	13,47	16,52	15,99	11,35	4,92	2,84	2,54	2,22	2,32	2,51	4,78	8,31
28	11,99	15,77	15,96	11,01	4,88	2,83	2,54	2,05	2,30	2,50	4,61	8,29
32	11,55	15,19	15,93	10,79	4,81	2,75	2,47	1,93	2,00	2,47	4,40	7,62
36	11,43	15,19	15,30	10,69	4,54	2,41	2,41	1,69	1,70	2,46	3,83	7,47
40	11,02	15,17	15,18	10,46	4,12	2,37	1,95	1,45	1,61	2,34	3,71	7,14
44	10,85	14,90	14,96	10,07	3,89	2,32	1,81	1,36	1,49	2,21	3,57	6,70
48	9,82	13,66	14,85	9,49	3,86	2,28	1,58	1,34	1,35	2,02	3,53	6,63
52	9,73	12,20	14,55	9,46	3,84	2,12	1,57	1,29	1,35	1,80	3,35	6,57
56	9,49	11,85	14,46	9,09	3,65	2,02	1,56	1,14	1,25	1,68	2,83	5,34
60	9,38	11,72	14,44	8,01	3,51	2,01	1,54	1,05	1,22	1,49	2,68	5,16
64	8,14	11,14	14,43	7,84	3,42	1,92	1,37	1,04	1,15	1,44	2,55	4,99
68	7,37	10,95	13,97	7,78	3,39	1,90	1,33	1,04	1,14	1,35	2,40	4,48
72	6,39	10,19	13,60	6,97	3,13	1,85	1,32	0,96	1,06	1,31	1,64	4,22
76	6,30	9,43	12,70	6,65	3,11	1,67	1,27	0,94	1,01	1,22	1,62	3,78
80	5,07	9,16	12,10	6,10	3,07	1,31	1,14	0,85	1,01	1,22	1,31	3,60
84	4,99	8,40	10,73	5,88	2,62	1,19	0,89	0,84	0,70	1,11	1,27	2,57
88	4,84	6,73	8,07	5,82	1,98	1,15	0,76	0,76	0,30	0,64	1,27	2,19
92	4,21	6,66	7,58	3,70	1,92	1,15	0,63	0,68	0,11	0,60	1,13	1,48
96	3,33	3,09	5,24	3,69	1,24	0,65	0,33	0,61	0,07	0,46	0,81	0,99
100	1,66	1,08	3,67	2,59	0,33	0,18	0,27	0,15	0,06	0,22	0,46	0,93

Anexo 9: Cálculo de probabilidades de ocurrencia de caudales medios mensuales.

Estación Hidrométrica Tamboraque. Periodo 1970 – 2014.

p(%)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2,22	32,61	37,46	42,41	28,01	18,19	12,05	9,68	8,70	8,31	10,66	14,97	24,64
4,44	30,79	37,13	35,84	27,92	15,42	11,19	9,32	8,45	7,71	9,47	14,30	21,00
6,67	27,49	36,22	34,95	26,81	15,41	11,14	8,89	7,73	7,66	9,43	11,59	18,32
8,89	26,98	35,26	34,66	26,29	15,23	10,81	8,72	7,47	7,51	8,74	10,93	18,11
11,11	26,73	32,29	33,91	25,97	15,04	10,72	8,62	7,40	7,20	8,48	10,87	16,50
13,33	25,62	31,99	32,85	25,09	14,62	10,38	8,54	7,13	7,18	8,35	10,72	15,66
15,56	25,12	31,94	32,35	24,16	14,17	10,34	8,27	7,07	6,99	8,23	10,66	15,40
17,78	24,79	31,58	32,24	24,09	14,10	10,22	8,21	6,98	6,91	8,22	10,23	15,14
20	23,12	31,41	32,04	23,27	13,98	10,00	8,12	6,97	6,90	7,90	10,11	15,10
22,22	23,03	31,12	31,48	23,08	13,88	9,91	7,98	6,89	6,87	7,72	9,82	14,90
24,44	22,91	29,71	31,47	22,76	13,85	9,81	7,97	6,84	6,84	7,62	9,74	14,73
26,67	21,16	29,38	31,23	22,17	13,55	9,77	7,95	6,79	6,82	7,60	9,71	14,44
28,89	20,34	28,80	31,07	21,90	13,25	9,72	7,62	6,76	6,81	7,55	9,64	14,28
31,11	19,74	28,22	30,84	21,85	12,84	9,71	7,62	6,59	6,77	7,41	9,53	14,25
33,33	19,12	28,14	29,60	21,65	12,75	9,65	7,54	6,58	6,66	7,36	9,52	13,45
35,56	18,73	28,00	29,22	21,14	12,51	9,63	7,54	6,50	6,64	7,26	9,19	12,31
37,78	18,22	27,35	28,56	20,31	12,38	9,14	7,43	6,50	6,61	7,18	9,05	12,28
40	17,90	26,94	28,01	20,01	11,59	9,08	7,31	6,49	6,54	7,17	8,63	12,13
42,22	17,88	26,05	27,58	18,72	11,53	8,95	7,26	6,44	6,52	7,14	8,59	12,13
44,44	17,76	25,96	27,49	18,72	11,41	8,81	7,09	6,41	6,46	7,14	8,43	11,47
46,67	17,33	24,88	27,25	18,26	11,27	8,64	7,08	6,27	6,37	7,07	8,34	11,44
48,89	16,94	24,21	26,72	18,18	11,13	8,48	7,01	6,18	6,36	7,04	8,22	11,40
51,11	16,90	24,04	26,61	17,74	11,00	8,46	6,68	6,15	6,28	7,03	8,19	11,30
53,33	16,65	23,05	26,57	17,58	10,89	8,36	6,65	6,06	6,24	6,87	8,05	11,07
55,56	16,27	23,02	25,84	17,41	10,89	8,25	6,61	6,06	6,19	6,84	8,02	11,06
57,78	16,07	22,57	25,56	17,16	10,87	8,17	6,59	5,96	6,09	6,80	8,00	10,49
60	16,04	22,05	25,44	16,67	10,81	7,97	6,57	5,93	6,09	6,68	7,52	10,37
62,22	15,37	21,18	24,23	16,32	10,64	7,87	6,50	5,91	6,08	6,63	7,50	10,33
64,44	15,28	21,12	24,20	16,24	10,58	7,86	6,43	5,85	5,98	6,59	7,44	10,29
66,67	15,02	20,79	24,19	15,38	10,56	7,79	6,41	5,73	5,98	6,58	7,40	10,25
68,89	14,65	20,47	23,46	15,26	10,51	7,67	6,29	5,73	5,91	6,58	7,39	10,10
71,11	14,55	19,24	21,55	15,05	10,49	7,57	6,20	5,69	5,89	6,55	7,38	9,65
73,33	14,52	18,70	19,85	14,71	10,11	7,48	6,16	5,62	5,87	6,49	7,16	9,46
75,56	14,52	18,42	19,65	14,21	9,96	7,47	6,15	5,58	5,86	6,47	7,15	9,24
77,78	13,04	18,34	19,60	13,84	9,65	7,41	6,15	5,56	5,80	6,46	6,97	9,18
80	12,26	17,68	18,88	13,15	9,30	7,28	6,09	5,51	5,72	6,39	6,97	9,17
82,22	11,77	17,59	18,37	12,84	8,98	7,21	6,05	5,49	5,65	6,36	6,90	9,09
84,44	11,62	16,30	15,95	12,74	8,91	7,05	6,03	5,49	5,63	6,30	6,90	8,91
86,67	11,29	14,35	15,81	12,36	8,86	6,91	5,54	5,48	5,57	6,27	6,84	8,53
88,89	11,06	13,72	15,19	11,47	8,78	6,86	5,50	5,36	5,57	6,24	6,64	8,35
91,11	10,88	13,46	14,88	11,46	8,47	6,77	5,44	5,20	5,50	6,12	6,62	8,04

Continuación.

93,33	10,54	12,43	14,83	11,33	8,27	6,76	5,32	5,11	5,13	6,01	6,51	7,91
95,56	10,44	10,93	13,98	9,78	7,91	6,62	5,27	5,07	5,09	5,88	6,39	7,17
97,78	9,88	10,33	12,58	9,72	7,35	6,41	5,19	4,51	4,68	5,68	6,35	7,09
100	9,07	8,70	9,78	8,41	7,32	6,27	5,07	4,43	4,51	5,00	6,32	6,96