

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“MODELO DE GESTIÓN DEL AGUA PARA EL ABASTECIMIENTO
POBLACIONAL DE LA CIUDAD DE LIMA Y ANÁLISIS DE
ESCENARIOS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

JOSÉ ROBERTO VICENCIO SERNA

LIMA - PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“MODELO DE GESTIÓN DEL AGUA PARA EL ABASTECIMIENTO
POBLACIONAL DE LA CIUDAD DE LIMA Y ANÁLISIS DE
ESCENARIOS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. JOSÉ ROBERTO VICENCIO SERNA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. JESÚS ABEL MEJÍA MARCACUZCO
Presidente

Mg. Sc. CAYO LEONIDAS RAMOS TAIPE
Asesor

Mg. Sc. ROSA MARÍA MIGLIO TOLEDO
Miembro

Mg. Sc. TORIBIO SEBASTIÁN SANTAYANA VELA
Miembro

LIMA – PERU

2021

DEDICATORIA

A mis abuelitos Isabel, Nico, Sara y Simón.

A mis padres, hermanos y familiares, por el apoyo brindado durante toda mi vida y especialmente durante mi formación profesional.

A mi esposa e hijo, por comprenderme y apoyarme en los momentos de concentración para la elaboración de la presente tesis. Gracias por el amor y la alegría que me brindan.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor Cayo Ramos, por su confianza, amistad y por la ayuda emocional que me brinda con sus palabras.

A Stephan Dohm, por su confianza, amistad y por el permiso para el uso de la información para el desarrollo de la presente tesis.

Al Proyecto de Adaptación de la Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Urbanas al Cambio Climático con la Participación del Sector Privado - PROACC, por el apoyo con la información brindada para la realización de la presente tesis.

A mis profesores de la Universidad Nacional Agraria La Molina, de cada uno de ellos me llevo una lección aprendida.

Y a todas las personas que de alguna u otra forma han contribuido con el desarrollo y avance de la presente tesis, gracias por los consejos y las palabras de ánimo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 CICLO HIDROLÓGICO.....	3
2.2 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA.....	4
2.2.1 Análisis exploratorio de datos.....	4
2.2.2 Análisis por agrupación o “cluster”.....	4
2.2.3 Método del vector regional de índices pluviométricos.....	4
2.2.4 Análisis de consistencia y corrección de datos.....	5
2.2.5 Completación de datos faltantes.....	8
2.3 MODELOS HIDROLÓGICOS.....	8

2.4	CALIBRACIÓN DE MODELOS	9
2.4.1	Parámetros de modelamiento	9
2.4.2	Métodos para la determinación de parámetros.....	10
2.4.3	Calibración manual	10
2.4.4	Calibración automática.....	11
2.4.5	Criterios de evaluación de modelos	12
2.5	PROGRAMA WEAP	13
2.5.1	Características del programa	14
2.5.2	Modelo precipitación - escorrentía.....	15
2.6	GESTIÓN DEL AGUA EN CUENCAS.....	19
2.7	MODALIDADES DE GESTIÓN A NIVEL DE CUENCA.....	20
2.8	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	21
III	MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1	MATERIALES.....	22
3.1.1	Equipos y herramientas	22
3.1.2	Área de estudio.....	22
3.1.3	Información espacial	26
3.1.4	Información de cobertura vegetal.....	26
3.1.5	Información climática	26
3.1.6	Información hidrométrica.....	30
3.1.7	Información de infraestructura hidráulica construida al 2018	33
3.1.8	Información de infraestructura hidráulica futura	48
3.1.9	Información sobre abastecimiento de la demanda poblacional del periodo 1965 - 2018.....	50
3.1.10	Demanda poblacional del periodo 1965 - 2018	52
3.1.11	Demanda poblacional futura	53
3.2	METODOLOGÍA	55

3.2.1	Elaboración, calibración y validación del modelo hidrológico en WEAP.....	57
3.2.2	Análisis de la disponibilidad hídrica de las cuencas	61
3.2.3	Análisis del nivel de regulación de las cuencas aportantes	62
3.2.4	Elaboración del modelo de gestión	62
3.2.5	Balance hídrico del periodo 1965-2018 y balance hídrico futuro	63
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1	ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HIDRICA DE LAS CUENCAS CHILLÓN, RÍMAC, LURÍN Y ALTO MANTARO.....	65
4.1.1	Modelo hidrológico en WEAP.....	65
4.1.2	Disponibilidad hídrica en las cuencas	85
4.2	NIVEL DE REGULACIÓN DE LAS CUENCAS APORTANTES	90
4.3	BALANCE HÍDRICO DEL PERIODO 1965 - 2018 Y BALANCE HÍDRICO DE ESCENARIOS FUTUROS.....	93
4.3.1	Modelo de gestión en WEAP	93
4.3.2	Balance hídrico del periodo 1965 – 2018.....	94
4.3.3	Balance hídrico futuro (análisis de escenarios).....	95
V	CONCLUSIONES	101
VI	RECOMENDACIONES.....	102
VII	BIBLIOGRAFÍA	103
VIII	ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Calificaciones generales de rendimiento para estadísticas recomendadas para un intervalo de tiempo mensual	13
Tabla 2: Estaciones climáticas con información pluviométrica en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro	28
Tabla 3: Estaciones climáticas con información de temperatura (°C) en las cuencas Rímac, Chillón y Alto Mantaro	29
Tabla 4: Estaciones climáticas con información de humedad relativa (%).....	30
Tabla 5: Estaciones climáticas con información de velocidad de viento (m/s).....	30
Tabla 6: Estaciones hidrométricas en las cuencas Rímac, Chillón y Lurín.....	31
Tabla 7: Caudales mensuales multianuales (m ³ /s) de las estaciones hidrométricas presentes en las cuencas Rímac, Chillón y Lurín.....	31
Tabla 8: Detalles de los embalses.....	47
Tabla 9: Proyectos actuales y futuros para abastecimiento poblacional de la ciudad de Lima	49
Tabla 10: Periodos de registro para la calibración y validación.....	60
Tabla 11: Determinación de escenarios futuros	63
Tabla 12: Microcuencas delimitadas – cuenca Rímac.....	67
Tabla 13: Microcuencas delimitadas – cuenca Chillón.....	68
Tabla 14: Microcuencas delimitadas – cuenca Lurín	68
Tabla 15: Microcuencas delimitadas – cuenca Alto Mantaro	69
Tabla 16: Distribución de la cobertura vegetal por cuenca	71
Tabla 17: Temperatura media mensual multianual en estaciones (°C)	75
Tabla 18: Humedad relativa media mensual multianual en estaciones (%).....	76
Tabla 19: Velocidad de viento media mensual multianual en estaciones (m/s).....	77
Tabla 20: Parámetros de calibración del modelo.....	80
Tabla 21: Estadísticos obtenidos para el periodo de calibración.....	80
Tabla 22: Estadísticos obtenidos para el periodo de validación.....	81
Tabla 23: Caudal medio mensual por microcuenca (m ³ /s) – cuenca Chillón. Periodo 1965 – 2018.....	82

Tabla 24: Caudal medio mensual por microcuenca (m ³ /s) – cuenca Lurín. Periodo 1965 – 2018.....	82
Tabla 25: Caudal medio mensual por microcuenca (m ³ /s) – cuenca Rímac. Periodo 1965 – 2018.....	83
Tabla 26: Caudal medio mensual por microcuenca (m ³ /s) – cuenca Alto Mantaro. Periodo 1965 – 2018	84
Tabla 27: Análisis del caudal regulado en las cuencas Rímac y Alto Mantaro, medido en la E.H. Chosica. Periodo 2014 – 2018	91
Tabla 28: Análisis del volumen regulado en las cuencas Rímac y Alto Mantaro, medido en la E.H. Chosica. Periodo 2014 – 2018	91
Tabla 29: Balance hídrico del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 1965 – 2018	94
Tabla 30: Balance hídrico para el Escenario 1 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 2019 – 2045	96
Tabla 31: Balance hídrico para el Escenario 2 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 2019 – 2045	97
Tabla 32: Balance hídrico para el Escenario 3 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 2019 – 2045	98
Tabla 33: Balance hídrico para el Escenario 4 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 2019 – 2045	100
Tabla 34: Distribución de cobertura vegetal en la cuenca Rímac	111
Tabla 35: Distribución de cobertura vegetal en la cuenca Chillón.....	112
Tabla 36: Distribución de cobertura vegetal en la cuenca Lurín.....	112
Tabla 37: Distribución de cobertura vegetal en la cuenca Alto Mantaro	113
Tabla 38: Precipitación media mensual por microcuenca (mm). Periodo 1965 – 2018....	114
Tabla 39: Temperatura media mensual por microcuenca (°C). Periodo 1965 – 2018	116
Tabla 40: Caudales naturales calculados E.H. Puente Magdalena (m ³ /s) – cuenca Chillón	122
Tabla 41: Caudales naturales calculados en E.H. Chosica (m ³ /s) – cuenca Rímac.....	123
Tabla 42: Caudales naturales calculados en Puente Manchay (m ³ /s) – cuenca Lurín.....	124
Tabla 43: Caudales en E.H. Puente Magdalena (m ³ /s) – cuenca Chillón.....	125
Tabla 44: Caudales en E.H. Chosica (m ³ /s) – cuenca Rímac	126
Tabla 45: Caudales en Puente Manchay (m ³ /s) – cuenca Lurín	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo hidrológico con volúmenes anuales de flujo en unidades relativas a la precipitación anual sobre la superficie de la Tierra (119 000 km ³ /año)	3
Figura 2: Vista de la interfaz gráfica del programa WEAP.....	14
Figura 3: Diagrama conceptual y ecuaciones incorporadas en el Modelo de Humedad del Suelo.....	16
Figura 4: Clasificación de acciones de gestión a nivel de cuenca.....	21
Figura 5: Jerarquización de acciones de gestión a nivel de cuenca.....	21
Figura 6: Ubicación geográfica de las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro	23
Figura 7: Estaciones climáticas con información pluviométrica en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro	27
Figura 8: Vistas de la Estación CO Yantac - cuenca Mantaro	29
Figura 9: Estación hidrométrica Obrajillo – cuenca Chillón.....	32
Figura 10: Estación hidrométrica San Mateo- cuenca Rímac	32
Figura 11: Ubicación de las lagunas reguladas en la subcuenca Santa Eulalia.....	34
Figura 12: Visita de campo a la laguna Huashua	37
Figura 13: Represa Yuracmayo ubicada sobre el río Blanco en la cuenca Rímac	38
Figura 14: Ubicación de los embalses en la cuenca Alto Mantaro y en la subcuenca del río Blanco perteneciente a la cuenca Rímac	39
Figura 15: Fotografía del túnel trasandino. (izq.) Ingreso del flujo hacia el túnel. (der.) salida desde el túnel hacia el río Santa Eulalia	40
Figura 16: Embalse Antacoto – cuenca Alto Mantaro	42
Figura 17: Canal colector Tucto – Antajasha – Cuevas – Sangrar.....	43
Figura 18: Embalse Huascacocha (Marca IV) – cuenca Alto Mantaro.....	45
Figura 19: Laguna Chuchón, se observa en el fondo la zona de la represa.....	45
Figura 20: Volumen de almacenamiento en los sistemas regulados	46
Figura 21: Imagen satelital de la PTAP La Atarjea.....	50
Figura 22: Imagen satelital de la PTAP Huachipa	51
Figura 23: Imagen satelital de la PTAP Agua Azul	52

Figura 24: Producción de agua potable para abastecimiento poblacional. Periodo 1965 – 2018.....	53
Figura 25: Demanda de agua potable para abastecimiento poblacional proyectado al 2045.....	55
Figura 26: Diagrama de la metodología desarrollada.....	56
Figura 27: Modelo digital de elevación de las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro	65
Figura 28: Delimitación de microcuencas en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro	66
Figura 29: Cobertura vegetal en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro	70
Figura 30: Análisis <i>cluster</i> de las estaciones pluviométricas	73
Figura 31: Isoyetas de precipitación total anual en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro	74
Figura 32: Correlación entre la temperatura media anual vs. altitud.....	75
Figura 33: Correlación entre la humedad relativa media anual vs. altitud	76
Figura 34: Correlación entre la velocidad de viento media anual vs. altitud	77
Figura 35: Esquema del modelo hidrológico de las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro elaborado en el programa WEAP	79
Figura 36: Caudal natural medio mensual - cuenca Chillón. Periodo 1965 – 2018.....	85
Figura 37: Disponibilidad hídrica natural - cuenca Chillón. Periodo 1965 – 2018.....	85
Figura 38: Caudal natural medio mensual - cuenca Rímac. Periodo 1965 – 2018.....	86
Figura 39: Disponibilidad hídrica natural - cuenca Rímac. Periodo 1965 – 2018	86
Figura 40: Caudal natural medio mensual - cuenca Lurín. Periodo 1965 – 2018.....	87
Figura 41: Disponibilidad hídrica natural - cuenca Lurín. Periodo 1965 – 2018.....	87
Figura 42: Caudal medio mensual - cuenca Chillón. Periodo 1965 – 2018.....	88
Figura 43: Disponibilidad hídrica en cuenca intervenida - cuenca Chillón. Periodo 1965 – 2018.....	88
Figura 44: Caudal medio mensual - cuenca Rímac. Periodo 1965 – 2018.....	89
Figura 45: Disponibilidad hídrica en cuenca intervenida - cuenca Rímac. Periodo 1965 - 2018	89
Figura 46: Caudal medio mensual - cuenca Lurín. Periodo 1965 – 2018.....	90
Figura 47: Disponibilidad hídrica en cuenca intervenida - cuenca Lurín. Periodo 1965 - 2018	90
Figura 48: Análisis de caudales en E.H. Chosica (m ³ /s). Periodo 2014 – 2018.....	91

Figura 49: Análisis de volúmenes en E.H. Chosica (hm ³). Periodo 2014 – 2018.....	92
Figura 50: Modelo de gestión del agua para abastecimiento poblacional de la ciudad de Lima elaborado en WEAP	93
Figura 51: Balance hídrico del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 1965 – 2018	95
Figura 52: Balance hídrico para el Escenario 1 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 2019 – 2045	96
Figura 53: Balance hídrico para el Escenario 2 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 2019 – 2045	97
Figura 54: Balance hídrico para el Escenario 3 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 2019 – 2045	99
Figura 55: Balance hídrico para el Escenario 4 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm ³). Periodo 2019 – 2045	100
Figura 56: Hidrograma de caudales en la E.H. Pariacancha - cuenca Chillón	107
Figura 57: Hidrograma de caudales en la E.H. Obrajillo - cuenca Chillón.....	107
Figura 58: Hidrograma de caudales en la E.H. Puente Magdalena - cuenca Chillón.....	107
Figura 59: Hidrograma de caudales en la E.H. Manchay - cuenca Lurín.....	108
Figura 60: Hidrograma de caudales en la E.H. Milloc - cuenca Rímac	108
Figura 61: Hidrograma de caudales en la E.H. Sheque - cuenca Rímac	108
Figura 62: Hidrograma de caudales en la E.H. Yuracmayo - cuenca Rímac	109
Figura 63: Hidrograma de caudales en la E.H. Río Blanco - cuenca Rímac.....	109
Figura 64: Hidrograma de caudales en la E.H. San Mateo - cuenca Rímac.....	109
Figura 65: Hidrograma de caudales en la E.H. Chosica - cuenca Rímac	110
Figura 66: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Pariacancha – cuenca Chillón	118
Figura 67: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Obrajillo – cuenca Chillón	118
Figura 68: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Puente Magdalena – cuenca Chillón.....	118
Figura 69: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Manchay – cuenca Lurín.....	119
Figura 70: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Yuracmayo – cuenca Rímac	119

Figura 71: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Río Blanco – cuenca Rímac	119
Figura 72: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Milloc – cuenca Rímac	120
Figura 73: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Sheque – cuenca Rímac	120
Figura 74: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación San Mateo – cuenca Rímac	120
Figura 75: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Chosica – cuenca Rímac	121

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	HIDROGRAMAS DE CAUDALES EN ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.....	107
ANEXO 2:	DISTRIBUCIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL POR MICROCUENCA.....	111
ANEXO 3:	SERIES CLIMÁTICAS POR MICROCUENCA	114
ANEXO 4:	CORRELACIÓN ENTRE CAUDALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	118
ANEXO 5:	CAUDALES NATURALES EN LAS CUENCAS CHILLÓN, RÍMAC Y LURÍN	122
ANEXO 6:	CAUDALES EN RÉGIMEN INTERVENIDO EN LAS CUENCAS CHILLÓN, RÍMAC Y LURÍN.....	125

RESUMEN

La ciudad de Lima es la capital del Perú y a su vez, la ciudad más grande y poblada del territorio peruano; su población alcanzó los 9,3 millones de habitantes de acuerdo al censo realizado por el INEI en el 2017; se abastece del agua potable administrada por SEDAPAL, que proviene de los ríos Chillón y Rímac, este último posee un trasvase desde la cuenca del Alto Mantaro. Dicho recurso puede verse disminuido por factores como incremento de la población, cambio climático, etc., por lo que, se ha elaborado un modelo de gestión en el programa WEAP, que representa el esquema hidráulico de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y la zona de influencia del Alto Mantaro, así como toda la infraestructura que componen el sistema de abastecimiento poblacional para la ciudad de Lima. Este modelo se utilizó para la evaluación del balance hídrico del periodo 1965-2018 y balance hídrico de escenarios futuros. Los resultados obtenidos indican que el nivel de regulación de los embalses al 2018 es 250,6 hm³ de un volumen útil total de 361,4 hm³, resultando un volumen de reserva de 110,8 hm³. Asimismo, el balance hídrico en el periodo 1965-2018 tiene un déficit de 9 por ciento; en el Escenario 1 (crecimiento tendencial sin proyectos), se presenta un déficit de 6 por ciento; en el Escenario 2 (crecimiento tendencial con proyectos), de 0,3 por ciento; en el Escenario 3 (crecimiento alto sin proyectos), de 12 por ciento; y, en el Escenario 4 (crecimiento alto con proyectos), un déficit de 1 por ciento.

Palabras clave: Modelo de gestión, modelo WEAP, abastecimiento poblacional, Lima, balance hídrico, escenarios.

ABSTRACT

The city of Lima is the capital of Peru and in turn, the largest and most populated city in Peruvian territory; Its population reached 9,3 million inhabitants according to the census carried out by the INEI in 2017; It is supplied with drinking water administered by SEDAPAL, which comes from the Chillón and Rímac rivers, the latter having a transfer from the Alto Mantaro basin. This resource may be diminished by factors such as population increase, climate change, etc., for which reason a management model has been developed in the WEAP program, which represents the hydraulic scheme of the Chillón, Rímac, Lurín and Alto Mantaro area of influence, as well as all the infrastructure that make up the population supply system for the city of Lima. This model was used for the evaluation of the water balance of the 1965-2018 period and the water balance of future scenarios. The results obtained indicate that the regulation level of the reservoirs in 2018 is 250,6 hm³ out of a total useful volume of 361,4 hm³, resulting in a reserve volume of 110,8 hm³. Likewise, the water balance in the 1965-2018 period has a deficit of 9 percent; In Scenario 1 (trend growth without projects), there is a deficit of 6 percent; in Scenario 2 (trend growth with projects), 0,3 percent; in Scenario 3 (high growth without projects), 12 percent; and, in Scenario 4 (high growth with projects), a deficit of 1 percent.

Key words: Management model, WEAP model, population supply, Lima, water balance, scenarios.

I INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La ciudad de Lima es la capital del Perú, a su vez es más grande y poblada del territorio peruano; su población alcanzó los 9,3 millones de habitantes de acuerdo al censo del 2017, con una tasa de crecimiento anual de 1,2 por ciento (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017)

De acuerdo a la cantidad de habitantes, Lima está a punto de ingresar dentro del grupo de megaciudades entre las que se encuentran por ejemplo Tokio o Buenos Aires; por otro lado, se sabe que Lima es la segunda ciudad más grande del mundo ubicada en un desierto, siendo la primera de ellas El Cairo ubicado en Egipto; ambas tienen un rango de precipitación total anual por debajo de los 10 mm/año, siendo consideradas como un desierto, sin embargo, a diferencia de El Cairo, aquí no existe presencia de grandes ríos que transporten enormes volúmenes de agua.

El agua potable que utilizan los habitantes de Lima es administrada por SEDAPAL¹, empresa estatal de derecho privado íntegramente de propiedad del estado y cuya cobertura actual incluye 46 de los 49 distritos que existen en la provincia de Lima y la provincia constitucional del Callao. Esta empresa utiliza el agua proveniente del río Rímac, así como de los pozos subterráneos distribuidos a lo largo de la ciudad, de esta forma logra abastecer mediante el agua superficial al 85 por ciento de la población y mediante el agua subterránea al restante 15 por ciento.

En las últimas décadas se han puesto en marcha proyectos de afianzamiento hídrico en la cuenca del Alto Mantaro, cuyas aguas son trasvasadas hacia la cuenca del río Rímac, a través del túnel trasandino.

El principal problema que podría afectar a la ciudad de Lima en el futuro es el desabastecimiento de agua para uso poblacional, originado por la disminución de las lluvias

¹ Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. SEDAPAL S.A.

en la parte alta de la cuenca a causa del Cambio Climático, el ingreso de material contaminante al río (huaycos, acumulación de basura, ingreso de relaves, etc.), disminución de la napa freática por sobreexplotación del acuífero, entre otros. El incremento poblacional, si bien no afecta directamente a la oferta, contribuye a aumentar la demanda del recurso.

La disminución en la oferta del agua de los ríos Rímac y Chillón, principalmente del primero de ellos, resultaría en un problema muy grave pues no se podría cubrir eficazmente la demanda de toda la ciudad, poniendo en riesgo la salud de la población. Asimismo, existiría una mayor sobreexplotación del acuífero por parte de usuarios formales e informales que podrían lucrar con el recurso hídrico, trayendo consigo informalidad, especulación y problemas en la seguridad de la ciudadanía, de instituciones públicas y privadas.

Conociendo los problemas que pueden suscitarse, en la presente investigación se elaboró un “modelo de gestión” que permitió simular condiciones de disminución de la oferta hídrica, cambio en la demanda y otros escenarios, así como sus posibles soluciones, que pueda servir como una herramienta adicional para la toma de decisiones en el futuro, beneficiando directamente a la población de la ciudad de Lima.

Este modelo fue elaborado con ayuda del programa *Water Evaluation and Planning System* (WEAP), el cual es una herramienta computacional que ayuda en la planificación integrada de recursos hídricos y que fue desarrollada por el *Stockholm Environment Institute* (SEI).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Elaborar un modelo de gestión del Agua de la ciudad de Lima y analizar el balance hídrico del periodo 1965-2018 y balance hídrico futuro.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar la disponibilidad hídrica de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Alto Mantaro a través de un modelo hidrológico calibrado y validado.
- Analizar el nivel de regulación de las cuencas aportantes.
- Evaluar el balance hídrico del periodo 1965-2018 y balance hídrico de escenarios futuros, a través de un modelo de gestión.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico es el principio fundamental de la hidrología. El agua *evapora* de los océanos y de la superficie terrestre, es llevado sobre la tierra mediante la circulación atmosférica como vapor de agua, *precipita* nuevamente como lluvia o nieve, es *interceptada* por los árboles y la vegetación, genera *escorrentía* sobre la superficie terrestre, *infiltra* en el suelo, recarga el agua subterránea, *descarga* en los ríos, y finalmente, emana hacia los océanos desde donde será evaporada una vez más. Este inmenso motor de agua, alimentado por la energía solar, manejado por la gravedad, prosigue sin fin en presencia o ausencia de la actividad humana (Maidment, 1993). El esquema del ciclo hidrológico se presenta en la Figura 1.

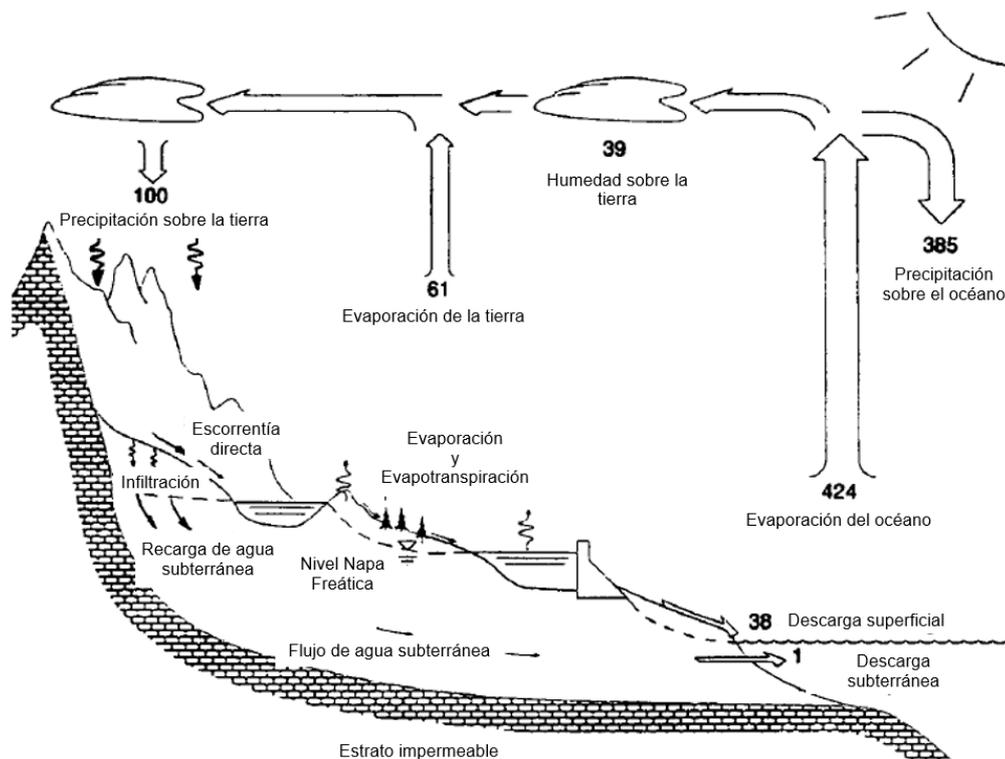


Figura 1: Ciclo hidrológico con volúmenes anuales de flujo en unidades relativas a la precipitación anual sobre la superficie de la Tierra (119 000 km³/año)

FUENTE: Maidment (1993)

2.2 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA

2.2.1 Análisis exploratorio de datos

Según Salvador & Gargallo (2017), consiste en examinar los datos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística, para que de esta forma se pueda conseguir un entendimiento básico de los mismos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas.

2.2.2 Análisis por agrupación o “cluster”

Es un método estándar del análisis multivariado que puede reducir una compleja cantidad de información en pequeños grupos o *clusters*, donde los miembros de cada uno de ellos comparten características similares (Gwo-Fong & Lu-Hsein, 2006).

Castro et al. (2012) indican que, como técnica de análisis multivariado el análisis *cluster* puede ser muy útil para reducir una compleja cantidad de información. Los métodos de aglomeración jerárquicos, no jerárquicos, híbridos, fuzzy, las medidas de similitud, la forma como se escoge el número óptimo de grupos e incluso los elementos de procedimiento, hacen que se presenten múltiples soluciones y que la decisión final sea tomada más de manera subjetiva que de forma objetiva.

2.2.3 Método del vector regional de índices pluviométricos

Espinoza (2005) indica que es un método de cálculo implementado en el programa Hydracces, el cual está orientado al desarrollo de tres tareas definidas: la crítica de datos, la homogenización y la extensión – completación de datos de precipitación.

Asimismo, la hipótesis fundamental en la que se basa, consiste en asumir que, para una misma zona climática sometida a un mismo régimen de precipitación, los valores pluviométricos totales anuales son pseudo-proporcionales, con una pequeña variación aleatoria cada año debido a la repartición de las lluvias dentro de la zona.

La idea básica del método del vector regional, es que en lugar de comparar dos por dos estaciones, por correlación o doble masa, como se hace en los métodos clásicos, se elabora una estación ficticia que sea una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona, con la cual se comparan cada una de las estaciones (Espinoza, 2005).

2.2.4 Análisis de consistencia y corrección de datos

Los datos pluviométricos e hidrométricos constituyen una secuencia de observaciones de algunas fases del ciclo hidrológico, las cuales han sido medidas en algún lugar específico de una cuenca.

Se sabe que para la elaboración de estudios más consistentes es mejor el uso de un largo periodo de registro en lugar de periodos de corta duración, sin embargo, existe una mayor probabilidad de que en un periodo extenso existan cambios en las condiciones físicas de la cuenca o en los métodos utilizados para recolectar los datos.

Guevara (2015) afirma que, si los cambios son apreciables, el registro así compuesto no representaría una condición real, representaría una condición no existente y no una que no existió o bien antes o bien después del cambio, por ende, tal registro sería inconsistente. El empleo de una curva de doble masa sería una forma de chequear la inconsistencia de un registro.

Para determinar los periodos consistentes se utilizaron las pruebas estadísticas de *Student* (consistencia en la media) y *Fisher* (consistencia en la desviación estándar).

El periodo de registro se divide en dos periodos para el análisis, para ambos se calcula la media y la desviación estándar de acuerdo a las ecuaciones siguientes:

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n X_i \quad ; \quad S_1 = \left[\frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_1)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n X_i \quad ; \quad S_2 = \left[\frac{1}{n_2-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_2)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

X_i	= información de análisis
\bar{X}_1, \bar{X}_2	= medias del periodo 1 y 2
S_1, S_2	= desviación estándar del periodo 1 y 2
n_1, n_2	= tamaño del periodo 1 y 2
n	= tamaño de muestra = $n_1 + n_2$

- **Consistencia en la media (prueba de medias)**

- H. p.: $\mu_1 = \mu_2$ (media poblacional)

H. a.: $\mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha = 0,05$

- Cálculo de las desviaciones estándar de promedios y ponderada

$$S_d = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. 3}$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

S_d = desviación estándar de los promedios

S_p = desviación estándar ponderada

- Realización de la prueba "T"

$$T_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$\mu_1 - \mu_2 = 0$ (por hipótesis)

T_c es el estadístico T calculado

T_t El valor de T tabular se calcula con: $\alpha = 0.05$ y G.L. = $n_1 + n_2 - 2$

- Conclusión

Si $|T_c| < T_t$ (95%) $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ (estadísticamente)

Si $|T_c| > T_t$ (95%) $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ (estadísticamente)

- **Consistencia en la desviación estándar (prueba de variancias)**

- Cálculo de las variancias de ambos periodos S_1^2 y S_2^2

- Prueba estadística “F”

$$H. p.: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H. a.: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha = 0,05$$

- Cálculo de “Fc”

$$F_c = \frac{S_1^2/\sigma_1^2}{S_2^2/\sigma_2^2} = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad Si: S_1^2 > S_2^2 \quad Ec. 6$$

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2}, \quad Si: S_2^2 > S_1^2 \quad Ec. 7$$

- Cálculo de “Ft”

$$\alpha = 0,05$$

$$G.L.N. = n_1 - 1 \text{ grados de libertad del numerador}$$

$$G.L.D. = n_2 - 1 \text{ grados de libertad del denominador}$$

$$F_c = \text{valor de F calculado}$$

$$F_t = \text{valor de F tabular}$$

- Criterios de decisión

$$Si F_c < F_t (95\%) \quad S_1 = S_2 \text{ (estadísticamente)}$$

$$Si F_c > F_t (95\%) \quad S_1 \neq S_2 \text{ (estadísticamente)}$$

Los periodos no consistentes se corrigen siguiendo el criterio proporcionado por Mejía (2015) donde indica que a pesar de que el número de años de registro en que la estación fue operada en las condiciones iniciales sea mayor que en las actuales, es más aconsejable corregir los datos del primer periodo, o sea, dejando inalterados los datos más recientes; porque en cualquier momento se puede hacer una inspección y conocer el estado de operación y conservación del mismo.

Para corregir los datos se aplica las siguientes ecuaciones:

$$X'_t = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} * S_2(x) + \bar{x}_2 \quad Ec. 8$$

$$X'_t = \frac{x_t - \bar{x}_2}{S_2(x)} * S_1(x) + \bar{x}_1 \quad Ec. 9$$

La Ec. 8 se aplica para corregir los valores de la submuestra correspondiente al periodo 1 y la Ec. 9 se aplica para corregir la submuestra del periodo 2.

2.2.5 Completación de datos faltantes

El proceso para completar datos se realiza con el programa HEC 04, que fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. Fue creado para analizar flujos mensuales en varias estaciones interrelacionadas, determinar sus características estadísticas y generar una secuencia de flujos hipotéticos de cualquier longitud deseada que tenga esas características (United States Army Corps of Engineers [USACE], 1971).

Asimismo, el programa reconstituye los flujos faltantes sobre la base de flujos concurrentes observados en otros lugares; es capaz de obtener cantidades máximas y mínimas para cada mes y para duraciones específicas, en los flujos registrados, reconstituidos y generados. Hay muchas opciones para usar el programa para diversos fines relacionados, y se puede usar para otras variables como la lluvia, la evaporación y los requisitos de agua, solos o en combinación (USACE, 1971).

2.3 MODELOS HIDROLÓGICOS

Chow et al. (1994) señalan que los modelos hidrológicos pueden dividirse en dos categorías: físicos y abstractos. Los primeros incluyen modelos a escala que representan el sistema en una escala reducida, y análogos, que usan otro sistema físico con propiedades similares a las del prototipo. Los modelos abstractos representan el sistema en forma matemática. La operación del sistema se describe por medio de un conjunto de ecuaciones que relacionen las variables de entrada y de salida. Estas variables pueden ser funciones del espacio y del tiempo, y también pueden ser variables probabilísticas o aleatorias que no tienen un valor fijo en un punto en particular del espacio y del tiempo pero que están descritas a través de distribuciones de probabilidad.

Asimismo, Jorquera et al. (2014) indican que un modelo hidrológico, busca representar los diferentes procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca. En la actualidad se dispone de una amplia variedad de modelos, los cuales han sido planteados bajo ciertas hipótesis cuyo claro entendimiento garantiza su correcto uso. Las principales diferencias que existen entre ciertos modelos son la

discretización espacial de la cuenca, la simulación continua o de eventos aislados y el enfoque utilizado para la representación de los procesos dominantes

Cabrera (2017) afirma que los modelos hidrológicos se presentan como una necesidad y una herramienta para conocer mejor el funcionamiento y el comportamiento de los diferentes componentes del ciclo hidrológico y como consecuencia pueden ser utilizados de alguna de las siguientes formas:

- Como herramienta para la gestión y planeamiento.
- Para una mayor comprensión del rol de los componentes del ciclo hidrológico en una determinada cuenca.
- Para extrapolar potenciales condiciones futuras a partir de condiciones actuales.
- Como base para la modelación de otros procesos como: modelamiento de la calidad de agua, cálculo de la erosión, etc.

2.4 CALIBRACIÓN DE MODELOS

En cada modelo que trata de reproducir los procesos hidrológicos en una cuenca, hay siempre algunas constantes desconocidas que son utilizadas para representar los procesos físicos. Estas constantes son llamadas “parámetros” del modelo, a las cuales se les debe asignar valores numéricos fijos antes de que el modelo pueda ser utilizado para predecir los resultados esperados, es decir, es necesario estimar estos parámetros de tal manera que se pueda obtener la mejor relación entre los valores modelados y observados. El proceso por el cual se seleccionan los parámetros es llamado “calibración” (Xu, 2002).

2.4.1 Parámetros de modelamiento

Muchos de los modelos creados, están basados en representaciones conceptuales de los procesos físicos que rigen el flujo del agua a través del suelo y sobre éste. Estos modelos, usualmente, tienen dos tipos de parámetros: “físicos” y de “proceso” (Xu, 2002).

a. Parámetros físicos: Representan propiedades físicamente medibles de la cuenca, tales como el área, la fracción que es impermeable, la superficie de los ríos y cuerpos de agua abiertos, etc.

b. Parámetros de proceso: Representan propiedades de la cuenca que no son directamente medibles, entre ellos se tiene: la profundidad media o efectiva del almacenamiento de

humedad superficial del suelo, la tasa efectiva de flujo intermedio, el coeficiente de no linealidad que controla la tasa de percolación al almacenamiento de agua subterránea, etc.

2.4.2 Métodos para la determinación de parámetros

Xu (2002) indica que existen dos formas para determinar los parámetros de un modelo.

a. Especificación de parámetros: En este caso se utiliza el conocimiento previo acerca de las propiedades y el comportamiento de la cuenca para especificar estimaciones iniciales de los parámetros del modelo. Para los parámetros físicos las estimaciones se hacen utilizando mediciones obtenidas en campo o a partir de mapas, dichos parámetros se fijan típicamente a estos valores medidos, y no se varían o se ajustan más a menos que se determinen que han sido tomados de forma incorrecta. Para los parámetros de proceso las estimaciones del rango (máximo y mínimo) de los valores posibles se determinan en base al juicio y comprensión de la hidrología de la cuenca.

b. Estimación de parámetros: En este caso se utilizan diversas técnicas diseñadas para reducir la incertidumbre en la estimación de los parámetros del proceso. Una aproximación típica es seleccionar primero una estimación inicial de los parámetros, en algún lugar dentro de los rangos previamente especificados. Los valores de los parámetros se ajustan entonces para que coincidan más estrechamente el comportamiento del modelo con el de la cuenca. El proceso de ajuste puede hacerse “manualmente” o utilizando métodos “automáticos” basados en computadoras.

2.4.3 Calibración manual

La calibración manual de un modelo implica seleccionar algún aspecto del comportamiento de la cuenca a la cual el modelo debe ser igualado, por ejemplo, se puede seleccionar el hidrograma de caudal en una o más ubicaciones del río, entonces se ajustan los parámetros del modelo para que el hidrograma simulado sea similar al hidrograma observado para un periodo de datos históricos. En la calibración manual se utiliza un proceso de prueba y error de los parámetros, después de cada proceso se comparan visualmente los hidrogramas simulados y observados para ver si el resultado ha sido mejorado (Xu, 2002).

Esta forma de calibración se llegará a mejorar a base de entrenamiento y mucha experiencia; sin embargo, para una persona inexperta y sin entrenamiento la calibración manual puede ser un ejercicio bastante frustrante y que consume una mayor inversión de tiempo. Esto se

debe, principalmente, a que es difícil determinar la lógica a través de la cual se deben ajustar los parámetros para mejorar la coincidencia. El desarrollo reciente de gráficos por computadora ha hecho que el proceso de calibración manual sea algo menos tedioso al permitir que los efectos de un ajuste de parámetros sean rápidamente observados y comparados con ensayos de parámetros anteriores (Xu, 2002).

La principal debilidad de la calibración manual es que la ausencia de medidas objetivas, generalmente, aceptadas de comparación hace difícil saber cuándo debe terminarse el proceso; es decir, cuando se ha obtenido el mejor ajuste posible. Debido a que la calibración manual implica una gran cantidad de juicio subjetivo, diferentes personas pueden obtener valores de parámetros muy diferentes para la misma cuenca. Esto hace difícil asignar explícitamente medidas de confianza al modelo calibrado y a sus simulaciones y predicciones (Xu, 2002).

2.4.4 Calibración automática

Xu (2002) señala que el desarrollo de métodos basados en computadoras para la calibración “automática” de modelos de cuencas han sido motivados por:

- La necesidad de acelerar el proceso de calibración;
- El hecho que hay unos poco expertos en calibración de modelos disponibles para cada modelo de cuenca; y,
- La necesidad de asignar algunas medidas de objetividad y confianza para la predicción del modelo.

Los procedimientos de optimización automática son algoritmos matemáticos que buscan minimizar las diferencias entre las características de los resultados modelados y observados, mediante alteraciones sistemáticas de prueba en los valores de los parámetros del modelo. Estas alteraciones de prueba son llamadas “iteraciones”.

Un típico procedimiento de estimación automática de parámetros consta de cuatro elementos principales, estos son: (a) función objetivo; (b) algoritmo de optimización; (c) criterio de terminación; y, (d) datos de calibración y análisis posterior.

2.4.5 Criterios de evaluación de modelos

La calibración del modelo será ajustada con los valores de Error Medio Cuadrático (EMC), la eficiencia de Nash–Sutcliffe (NSE) y el porcentaje de BIAS.

De acuerdo con Moriasi et al. (2007) el EMC es un indicador valioso pues indica error en las unidades del componente de interés, lo que ayuda en el análisis de los resultados, mientras el valor es más cercano a 0, mejor será el ajuste.

Nash Sutcliffe, citado por Moriasi et al. (2007), indica que el NSE es una estadística normalizada que determina la magnitud relativa de la varianza residual “ruido” en comparación con la varianza de datos medidos “información”. El rango de valores de NSE varía entre $-\infty$ y 1, siendo el valor 1 el óptimo.

Gupta, citado por Moriasi et al (2007), indica que el sesgo porcentual PBIAS mide la tendencia promedio de los datos simulados a ser más grandes o más pequeños que sus contrapartes observadas, el valor óptimo de PBIAS es 0. Los valores positivos indican un sesgo de subestimación del modelo, y los valores negativos indican un sesgo de sobrestimación del modelo.

A continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas para la evaluación del modelo:

$$EMC = \sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) \quad \text{Ec. 10}$$

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right) \quad \text{Ec. 11}$$

$$PBIAS = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right) \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

Y_i^{obs} : es el i-ésimo valor observado de la serie a evaluar.

Y_i^{sim} : es el i-ésimo valor simulado de la serie a evaluar.

Y^{mean} : es la media de los datos observados en la serie a evaluar.

n : es el número total de datos observados o simulados en la serie a evaluar.

Los valores resultantes de NSE y PBIAS serán comparados con los valores propuestos en la Tabla 1.

Tabla 1: Calificaciones generales de rendimiento para estadísticas recomendadas para un intervalo de tiempo mensual

DESARROLLO	NSE	PBIAS
Muy bueno	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$
Bueno	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Satisfactorio	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Insatisfactorio	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$

FUENTE: Moriasi et al. (2007)

2.5 PROGRAMA WEAP

Conforme a lo revisado en Universidad Católica de Chile [UC] y Stockholm Environment Institute [SEI] (2009), el programa WEAP - *Water Evaluation and Planning System*, en español Sistema de Evaluación y Planificación del Agua - es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua, que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación como microcuencas hasta cuencas extensas.

Asimismo, en Stockholm Environment Institute [SEI] (2017a) se señala que esta herramienta proporciona un marco amplio, flexible y fácil de usar para la planificación y análisis de políticas. WEAP también se distingue por su enfoque integral al modelar tanto los componentes naturales (p. ej. las demandas por evapotranspiración, escorrentía, flujo base, etc.) como los componentes de infraestructura (p. ej. embalses, bombeo de agua subterránea, etc.) de los sistemas hídricos. Esto permite que los planificadores accedan a una perspectiva más completa del amplio rango de factores que deben ser considerados en la gestión de los recursos hídricos para el uso presente y futuro. El resultado es una herramienta efectiva para examinar opciones para el desarrollo y gestión de los recursos hídricos

Las capacidades del programa WEAP son las siguientes:

- Base de datos del Balance Hídrico: WEAP proporciona un sistema para mantener información de oferta y demanda de agua.

- Herramienta de generación de escenarios: WEAP permite simular demanda, suministro, escorrentía, caudales, almacenamiento, generación, tratamiento y descarga de contaminantes y calidad del agua en las corrientes.
- Herramienta de análisis de política: WEAP evalúa una gama completa de opciones para el desarrollo y gestión de los recursos hídricos, y tiene en cuenta los usos múltiples y competitivos de los sistemas hídricos.

2.5.1 Características del programa

De acuerdo a la información revisada en Stockholm Environment Institute [SEI] (2017b) se describe a continuación las características del programa:

WEAP Ofrece a través de una interfaz gráfica basada en SIG (Figura 2), una manera simple, pero poderosa para construir, visualizar y modificar la configuración. El usuario diseña un esquema del sistema usando el ratón para "arrastrar y soltar" los elementos y agregarlos al sistema. Los elementos representan a los actores de una cuenca como: centros poblados, comisión de regantes, PTAR, centrales hidroeléctricas, canales, entre otros; asimismo representan también los elementos naturales como los ríos, acuíferos y manantiales.

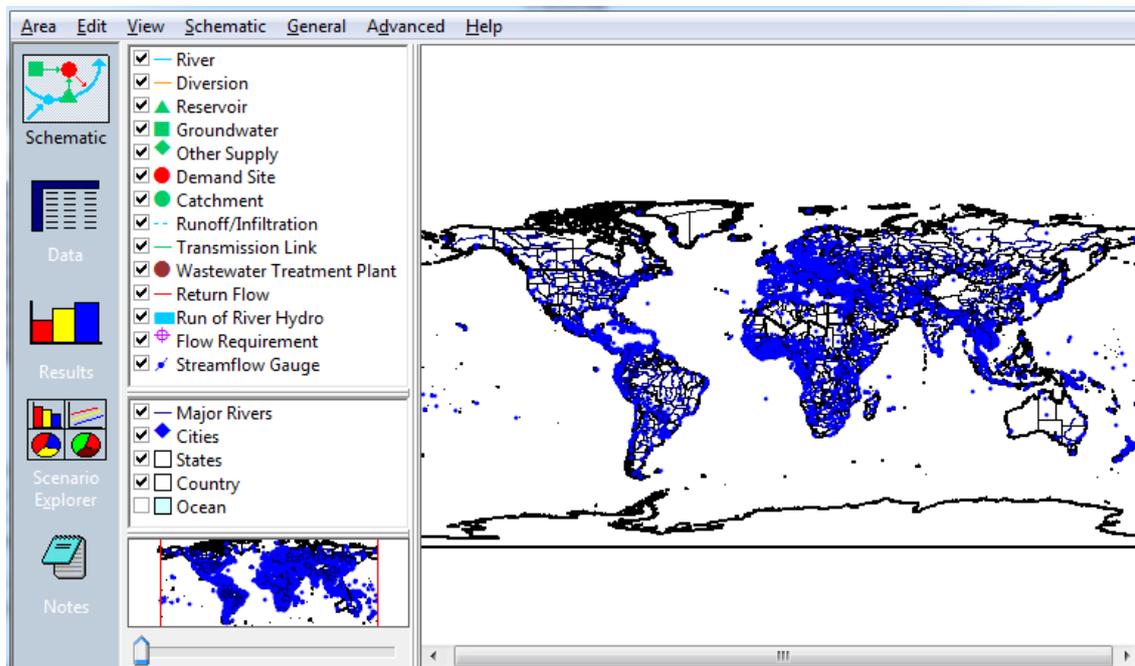


Figura 2: Vista de la interfaz gráfica del programa WEAP

FUENTE: Tomado del programa WEAP

Otra de las capacidades es que estos elementos pueden ser exportados y sobrepuestos en un mapa construido en ArcGis y otros archivos de SIG estándar y gráficos.

Los datos correspondientes a cualquier componente pueden ser editados directamente haciendo clic en el símbolo deseado en el esquema. El usuario puede consultar la función de ayuda contextualizada desde cualquier parte en WEAP.

El programa cuenta con asistentes, avisos y mensajes de error que facilitan el uso de la herramienta. Con la completa y flexible herramienta de reporte de WEAP, el usuario puede personalizar los resultados de los reportes basados en gráficos, tablas o mapas y seleccionar de entre una serie de opciones de formato (p. ej. Unidades métricas o del sistema inglés, años, valores absolutos, partes porcentuales o tasas de crecimiento).

Las configuraciones específicas de los reportes se pueden guardar como "favoritos" que se puede combinar en "vistas generales" o resúmenes, de los indicadores claves del sistema; estas vistas generales pueden ser recuperadas rápidamente para ser revisadas.

Sus principales características son:

- Sirve para crear un Sistema Integrado de Planeación de Recursos Hídricos.
- Posee una interfaz gráfica “arrastrar y soltar” basada en SIG.
- Alta capacidad para construir modelos con un número de funciones predefinidas.
- Incorporado en los modelos para: precipitación, escorrentía e infiltración, evapotranspiración, los requerimientos del cultivo y rendimientos, interacción agua superficial/agua subterránea y la calidad del agua dentro de la corriente.
- Permite introducir ecuaciones y variables definidas por el usuario.
- Posee enlaces dinámicos a hojas de cálculo y otros modelos.
- Estructuras de datos flexibles y expandible.
- Sistema de reporte de gran alcance que incluye gráficos, tablas y mapas.

2.5.2 Modelo precipitación - escorrentía

El modelo de transformación de lluvia a escorrentía del programa es el “Modelo de humedad del Suelo”, el cual es un modelo de doble tanque basado en relaciones empíricas que describen la evapotranspiración, escorrentía superficial, flujo subsuperficial (interflujo) y percolación profunda para una unidad de cuenca. Ver Figura 3.

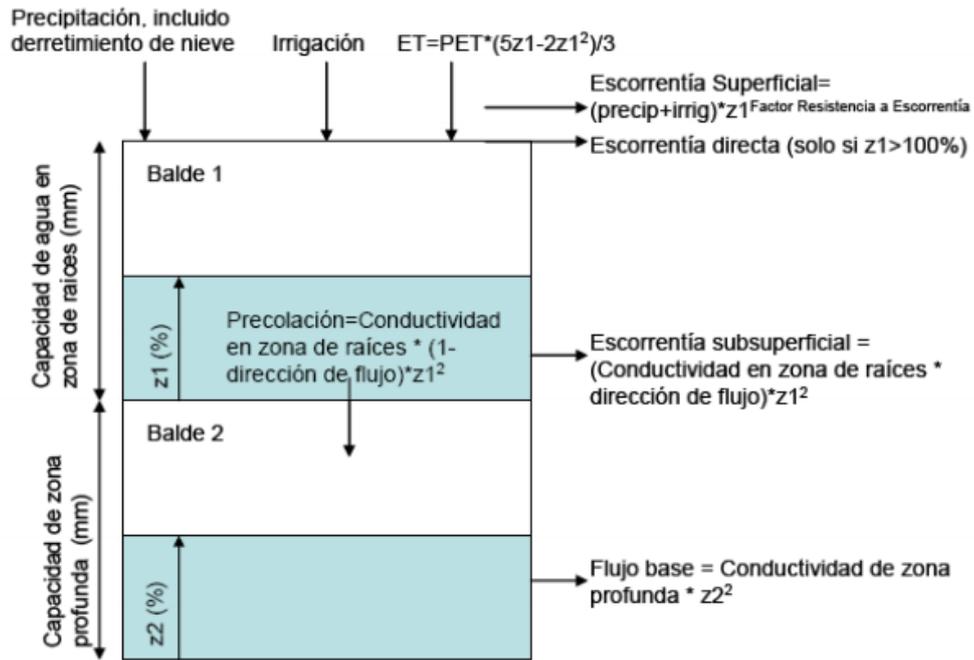


Figura 3: Diagrama conceptual y ecuaciones incorporadas en el Modelo de Humedad del Suelo

FUENTE: UC y SEI (2009)

Este modelo permite la caracterización de los impactos del uso y/o tipo del suelo en estos procesos. La percolación profunda dentro de una unidad de cuenca puede ser transmitida a un cuerpo de agua como flujo base, o directamente al almacenamiento subterráneo si se hace en enlace entre los elementos que representan a dicha unidad de cuenca y al agua subterránea (Sieber & Purkey, 2015).

A continuación, se describe las ecuaciones incluidas en dicho modelo.

Una unidad de cuenca puede ser dividida en N fracciones de área representando diferentes usos del suelo o tipos del suelo, el balance de agua es calculado por cada fracción de área j de N. El clima es asumido uniforme sobre cada subcuenca, y el balance de agua es dado como:

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1,j}^{RRF_j} - f_j k_{s,j} z_{1,j}^2 - (1 - f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2$$

Ec.13

Donde $z_{1,j} = [1,0]$, es el almacenamiento relativo dado como una fracción del almacenamiento total en la zona de raíces Rd_j (mm) para la fracción de cobertura del suelo j.

P_e , es la precipitación efectiva incluido el derretimiento de nieve de las capas acumuladas en la subcuena, y donde m_c es el coeficiente de derretimiento dado por:

$$m_c = \begin{cases} 0 & \text{si } T_i < T_s \\ 1 & \text{si } T_i > T_l \\ \frac{T_i - T_s}{T_l - T_s} & T_s \leq T_i \leq T_l \end{cases} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde T_i es la temperatura observada por el mes i , y T_l y T_s son las temperaturas de derretimiento y congelación.

La acumulación de nieve Ac_i es una función de m_c y de la precipitación total observada P_i de acuerdo a la siguiente relación:

$$Ac_i = Ac_{i-1} + (1 - m_c)P_i \quad \text{Ec. 15}$$

Con la tasa de derretimiento m_r definido como:

$$m_r = Ac_i m_c \quad \text{Ec. 16}$$

La precipitación efectiva P_e es calculada como:

$$P_e = P_i m_c + m_r \quad \text{Ec. 17}$$

En la ecuación 13, el cálculo para la evapotranspiración potencial PET, es realizado utilizando el cálculo para el cultivo de referencia descrito en (Maidment, 1993), en la sección 4.15, ecuación 4.2.31, siendo este cálculo la ecuación modificada de Penman - Monteith para un cultivo estándar de Grass de 0,12 m de altura y con una superficie de resistencia de 69 s/m. En la implementación de la ecuación se realizaron dos modificaciones: el albedo varía en un rango de 0,15 a 0,25 como función de la cobertura de nieve, y el termino G del flujo del calor del suelo fue ignorado.

En la ecuación 13, el coeficiente $k_{c,j}$ es el coeficiente cultivo/planta para cada fracción de la cobertura del suelo.

El tercer término $P_e(t)z_{1,j}^{RRF_j}$ de la ecuación 13 representa la escorrentía superficial donde RRF_j es el factor de resistencia a la escorrentía de la cobertura del suelo. Altos valores de RRF_j contribuye a la disminución de la escorrentía directa.

Los términos cuarto ($f_j k_{s,j} z_{1,j}^2$) y quinto ($(1 - f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2$) de la ecuación 13 son el interflujo y la percolación profunda respectivamente, donde el parámetro $k_{s,j}$ es un estimado de la conductividad (mm/tiempo) cuando la zona de raíces se encuentra saturada, y f_j es el coeficiente de partición relacionado al suelo, tipo de cobertura de la superficie y la topografía, este coeficiente particiona el flujo de agua de forma horizontal y vertical. Así, la superficie total e interflujo, RT, de cada subcuenca en el tiempo t es:

$$RT(t) = \sum_{j=1}^N A_j \left(P_e(t) z_{1,j}^{RRF_j} + f_j k_{s,j} z_{1,j}^2 \right) \quad \text{Ec. 18}$$

Para aplicaciones donde no existe flujo de retorno desde un nodo de subcuenca hacia un nodo de acuífero, el flujo base que emana del segundo tanque será calculado como:

$$S_{max} \frac{dz_2}{dt} = \left(\sum_{j=1}^N (1 - f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2 \right) - k_{s2} z_2^2 \quad \text{Ec. 19}$$

Donde el ingreso hacia el almacenamiento inferior, S_{max} , es la percolación profunda del almacenamiento superior dado en la ecuación 1. k_{s2} es la conductividad saturada del almacenamiento inferior (mm/tiempo), el cual es dado como un valor único para cada elemento de subcuenca (*catchment*) y por lo tanto no incluye un subíndice j. Las ecuaciones 13 al 19 son resueltas usando un algoritmo de predicción-corrección.

Cuando un acuífero aluvial es introducido al modelo y se establece una conexión entre los elementos que representan a una subcuenca y el acuífero, el segundo término ($k_{s2} z_2^2$) de la ecuación 7 es ignorado, y por lo tanto la recarga R (volumen / tiempo) hacia el acuífero está dada por la siguiente ecuación:

$$R = \sum_{j=1}^N A_j (1 - f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2 \quad \text{Ec. 20}$$

Donde A es el área contribuyente a la unidad de cuenca.

El acuífero esquematizado en el programa caracteriza la altura de la napa freática relativo al río, donde cada segmento individual del río puede ganar del acuífero o perder agua hacia el acuífero.

2.6 GESTIÓN DEL AGUA EN CUENCAS

La Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2017) indica que una cuenca hidrográfica es el área delimitada por un límite topográfico bien definido (parte aguas). Es también una zona geográfica donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto en particular a partir del cual la cuenca se drena. Dentro de este límite topográfico, la cuenca presenta un complejo de suelos, geoformas, vegetación y uso de la tierra.

Dourojeanni et al. (2002) señalan que la cuenca, sea en forma independiente o interconectada con otras, es la unidad territorial más aceptada para la gestión integrada de los recursos hídricos. Las políticas para utilizar el territorio de una cuenca como base para la gestión del agua han tenido diferentes enfoques y una desigual evolución en los países de América Latina y el Caribe. Desde fines de los años treinta, en muchos de ellos se ha tratado de adoptar los modelos de gestión del agua a nivel de cuencas, pero ha habido –y hay actualmente– una serie de dificultades.

La Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2016) presenta un concepto para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), definiéndola como “un proceso que promueve, en el ámbito de la cuenca hidrográfica, el manejo y desarrollo coordinado del uso y aprovechamiento multisectorial del agua y sus bienes naturales asociados a esta, orientado a lograr el desarrollo sostenible del país sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas”. La GIRH desafía los sistemas de gestión tradicionales y de tipo sectorial, otorgando énfasis a un enfoque holístico que promueve la toma de decisiones entre diversos sectores y niveles de organización.

La organización del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés), tiene un enfoque holístico de la Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas y se basa en el principio de que los ecosistemas de cuencas fluviales que funcionan naturalmente (incluidos los sistemas de humedales y aguas subterráneas) son la fuente de agua dulce, por lo tanto, la gestión de las cuencas hidrográficas debe incluir mantener el funcionamiento del ecosistema como una meta primordial.

Asimismo, las cuencas hidrográficas son dinámicas en el espacio y tiempo, y cualquier intervención de gestión única tiene implicaciones para el sistema en conjunto.

De acuerdo a la WWF, los siete elementos clave de una iniciativa de Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas son:

- Una visión a largo plazo de la cuenca hidrográfica, acordada por los principales interesados.
- Integración de políticas, decisiones y costos a través de intereses sectoriales como la industria, la agricultura, el desarrollo urbano, la navegación, la ordenación y conservación de la pesca, incluso mediante estrategias de reducción de la pobreza.
- La toma de decisiones estratégicas en la cuenca hidrográfica, que orienta las acciones a nivel de subcuenca o local.
- Momento efectivo, aprovechando las oportunidades que surjan mientras trabajan dentro de un marco estratégico.
- Participación activa de todas las partes interesadas en una planificación y una toma de decisiones bien informadas y transparentes.
- Inversión adecuada de los gobiernos, el sector privado y las organizaciones de la sociedad civil en la capacidad para los procesos de planificación y participación de las cuencas hidrográficas.
- Una base sólida de conocimiento de la cuenca y de las fuerzas naturales y socioeconómicas que la influyen.

2.7 MODALIDADES DE GESTIÓN A NIVEL DE CUENCA

De acuerdo a Dourojeanni et al. (2002), el tema de la gestión de cuencas está siendo cada vez más aceptado en los países de América Latina y el Caribe; en el Perú, es la Autoridad Nacional del Agua la entidad que viene desarrollando desde hace varios años planes de Gestión Integrada de Recursos Hídricos en la mayoría de las cuencas.

En la Figura 4 se sintetizan los objetivos de la gestión en cuencas de acuerdo a las etapas de gestión.

La investigación a realizar en esta tesis se encuentra dentro de la fase previa de gestión que se refiere a los estudios, planes y proyectos para el ordenamiento de la cuenca.

En la Figura 5 se presenta la jerarquización de las acciones de gestión.

Etapas de gestión	Objetivos de gestión en cuencas			
	Para el aprovechamiento y manejo integrado	Para aprovechar y manejar todos los recursos naturales	Para aprovechar y manejar sólo el agua	
			Multisectorialmente	Sectorialmente
	(a)	(b)	(c)	(d)
(1) Previa	Estudios, planes y proyectos <i>(ordenamiento de cuencas)</i>			
(2) Intermedia <i>(inversión)</i>	"River Basin Development" <i>(desarrollo integrado de cuencas o desarrollo regional)</i>	"Natural Resources Development" <i>(desarrollo o aprovechamiento de recursos naturales)</i>	"Water Resources Development" <i>(desarrollo o aprovechamiento de recursos hídricos)</i>	"Water Resources Development" <i>(agua potable y alcantarillado, riego y drenaje, hidroenergía)</i>
(3) Permanente <i>(operación y mantenimiento, manejo y conservación)</i>	"Environmental Management" <i>(gestión ambiental)</i>	"Natural Resources Management" <i>(gestión o manejo de recursos naturales)</i>	"Water Resources Management" <i>(gestión o administración del agua)</i>	"Water Resources Management" <i>(administración de agua potable, riego y drenaje)</i>
		"Watershed Management" <i>(Manejo u ordenación de cuencas)</i>		

Figura 4: Clasificación de acciones de gestión a nivel de cuenca

FUENTE: Dourojeanni et al. (2002)

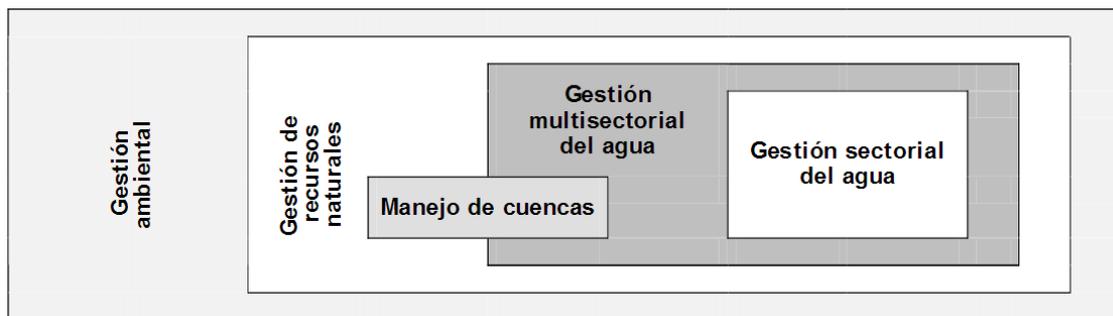


Figura 5: Jerarquización de acciones de gestión a nivel de cuenca

FUENTE: Dourojeanni et al. (2002)

2.8 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

La confiabilidad de un sistema designa la probabilidad de que cumpla satisfactoriamente con la función para la cual fue diseñado, durante un determinado periodo de tiempo y en condiciones especificadas de operación. Así un evento que interrumpa ese funcionamiento se denomina falla. El objetivo del análisis de confiabilidad es determinar la probabilidad de falla del modelo, tomando en consideración, las incertidumbres asociadas a las variables de cambio en el modelo.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Equipos y herramientas

La presente tesis fue desarrollada en dos fases: en la primera de ellas se realizó el reconocimiento de la zona de estudio y la recopilación de información primaria y secundaria; y, durante la segunda fase se procedió con el procesamiento de la información y el análisis de resultados. Para ambas fases se hizo uso de los siguientes equipos y herramientas:

- Para los trabajos de campo de reconocimiento de la infraestructura hidráulica y estaciones climáticas se utilizó una camioneta Toyota Hilux equipada para recorrido en altura, cámara fotográfica, GPS navegador y una libreta de apuntes.
- Para los trabajos de oficina se hizo uso de una Laptop Intel I5 con licencia de *SO Windows®* y *Microsoft Office®*.
- Se utilizaron los siguientes programas de ingeniería: Programa libre QGIS, programa WEAP con licencia estudiantil y programa Hydracces con licencia libre brindada por el SO-HYBAM².
- Útiles varios de oficina.

3.1.2 Área de estudio

Comprende el ámbito geográfico de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, además del área de influencia donde se ubican los proyectos Marca I, II, III, IV y V en la cuenca alta del río Mantaro. Ver Figura 6.

² Servicio de observación de los recursos hídricos de la cuenca amazónica.

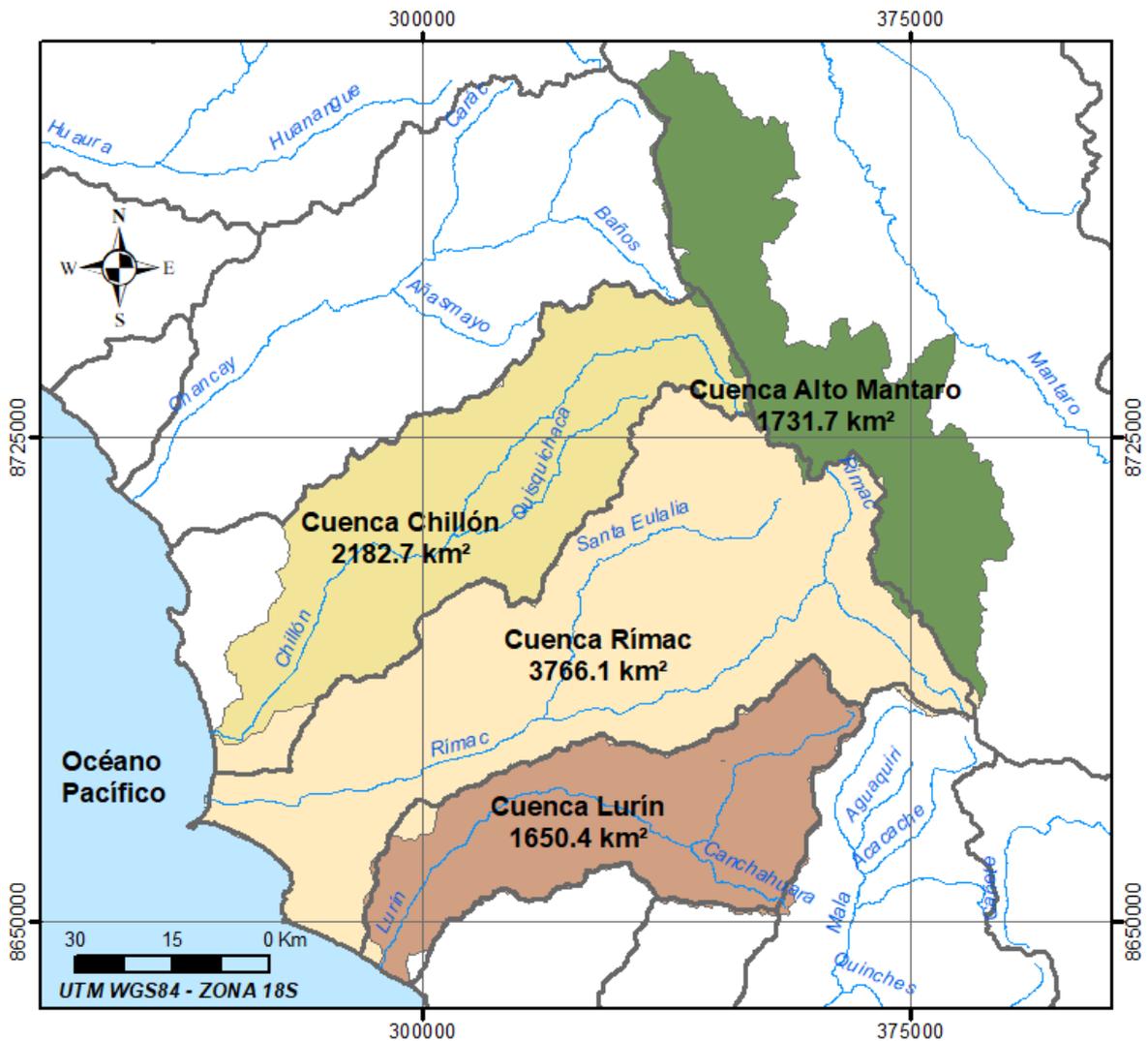


Figura 6: Ubicación geográfica de las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro

FUENTE: Elaborado con información de Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2019)

a. Cuenca del río Rímac

En Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2010), se señala que la cuenca del río Rímac pertenece hidrográficamente a la vertiente del Pacífico; asimismo, el río Rímac nace en la Cordillera Central de los Andes y recorre perpendicularmente hasta desembocar en el Océano Pacífico

La cuenca Rímac se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas UTM: 263691E, 8732979N y 385751E, 8642708N. Tiene un área de 3766,1 km² y un perímetro de 431,6 km.

La unidad orgánica que administra los recursos hídricos en el ámbito de la cuenca es la Administración Local de Agua Chillón-Rímac-Lurín, que depende jerárquicamente de la AAA Cañete – Fortaleza y de la Autoridad Nacional del Agua.

Según la división política se encuentra ubicada en su mayoría en la región Lima y en menor proporción en la región Junín; enmarcándose en las provincias de Lima, Huarochirí y Yauli, respectivamente (ANA, 2010).

Sus límites son: por el norte con la cuenca del río Chillón, por el sur con la cuenca del río Lurín, por el este con la cuenca del río Mantaro y por el oeste con el Océano Pacífico.

b. Cuenca del río Chillón

La cuenca del río Chillón pertenece hidrográficamente a la vertiente del Pacífico; el río Chillón, nace en la Cordillera de los Andes; específicamente, en la Cordillera La Viuda; a lo largo de su recorrido recibe el aporte de la quebrada Quisquichaca, descargando sus aguas en el Océano Pacífico.

La cuenca Chillón se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas UTM: 267190E, 8749014N y 350365E, 8677385N. Tiene un área de 2182,7 km² y un perímetro de 294,7 km.

La unidad orgánica que administra los recursos hídricos en el ámbito de la cuenca es la Administración Local de Agua Chillón-Rímac-Lurín, que depende jerárquicamente de la AAA Cañete – Fortaleza y de la Autoridad Nacional del Agua.

Según la división política se encuentra ubicada en la región Lima, abarcando las provincias de Canta y parte de la provincia de Lima (Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 2003).

Sus límites son: por el norte con la cuenca del río Chancay, por el sur con la cuenca del río Rímac, por el este con la cuenca del río Mantaro y por el oeste con el Océano Pacífico.

c. Cuenca del río Lurín

La cuenca del río Lurín pertenece, hidrográficamente, a la vertiente del Pacífico. La cuenca del río Lurín presenta la forma general de un cuerpo alargado, ligeramente ensanchado en su parte superior, cuyo patrón de drenaje es de tipo dendrítica.

En el texto revisado del Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA] (2004) se menciona que el río Lurín tiene su origen en los deshielos del nevado Surococha, a 5300 m.s.n.m., adoptando su primera denominación como, río Chalilla que al juntarse con la quebrada Taquia cambia de nombre a río Lurín, que conserva hasta su desembocadura en el océano pacífico

La cuenca Lurín se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas UTM: 290545E, 8690711N y 367552E, 8639940N. Tiene un área de 1650,4 km² y un perímetro de 250,7 km.

La unidad orgánica que administra los recursos hídricos en el ámbito de la cuenca es la Administración Local de Agua Chillón-Rímac-Lurín, que depende jerárquicamente de la AAA Cañete – Fortaleza y de la Autoridad Nacional del Agua.

Según la división política se encuentra ubicada en la región Lima, abarcando las provincias de Huarochirí y parte de la provincia de Lima.

Sus límites son: por el norte con la cuenca del río Rímac, por el sur con la Intercuenca 1375533 y la cuenca Chilca, por el este con la cuenca del río Mala y por el oeste con el Océano Pacífico.

d. Zona de influencia en la cuenca del Alto Mantaro

La zona de influencia ubicada en la cuenca del Alto Mantaro, corresponde al área de influencia de los proyectos actuales Marca I, Marca III y Marca IV y los proyectos futuros Marca II y Marca V.

El área de influencia de esta zona se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas UTM: 332530E, 8785081N y 390881E, 8684103N. Tiene un área de 1731,7 km² y un perímetro de 371,9 km.

Administrativamente pertenece a la Administración Local del Agua Mantaro.

Políticamente se encuentra ubicada entre las regiones de Cerro de Pasco y Junín, abarcando las provincias de Pasco y Yauli respectivamente.

Sus límites son: por el norte, sur y este con el área complementaria de la cuenca Mantaro, por el oeste con las cuencas Chillón y Rímac.

3.1.3 Información espacial

La información espacial para la delimitación de las cuencas y microcuencas, ha sido obtenida de dos fuentes: (1) el geoservidor del Ministerio de Educación – Perú, donde se presenta la carta nacional completa para todo el Perú; y, (2) del geoservidor de la Autoridad Nacional del Agua. La información fue obtenida en formato *shapefile* (*.shp).

Las cartas nacionales poseen información topográfica a una escala de 1:50000 con curvas de nivel cada 50 m, además incluye información de ríos, cuerpos de agua, nevados, así como los nombres de cada uno de estos elementos. Las hojas que han sido utilizadas son: 23j, 23k, 24i, 24j, 24k, 25i, 25j, 25k.

3.1.4 Información de cobertura vegetal

Esta información fue obtenida del Mapa Nacional de Cobertura vegetal elaborado por el Ministerio del Ambiente en el año 2015, donde describen las características de todas las coberturas ubicadas en el territorio nacional, asimismo fue posible encontrar esta información en formato *shapefile* (*.shp) para su posterior tratamiento con un programa de SIG.

El Mapa de Cobertura Vegetal del Perú, elaborado por el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2015), ofrece información actualizada sobre la superficie, características generales y distribución geográfica de los diferentes tipos de cobertura vegetal existente en el país. Ha sido elaborado en base a imágenes satelitales del 2011, con escala de interpretación de 1:100 000; el área mínima de mapeo es de 16 hectáreas, y de 5 hectáreas para casos especiales.

Asimismo, en MINAM (2015) se indica que el Perú es uno de los países con mayor diversidad de ecosistemas del mundo, los cuales se caracterizan por su gran complejidad vegetal, climática, geomorfológica y edáfica, parte de esta riqueza es debido a la cordillera de los andes que cruza el territorio peruano creando una variedad de pisos altitudinales.

3.1.5 Información climática

Las variables climáticas que se utilizaron para el desarrollo del modelo fueron: precipitación (mm), temperatura (°C), humedad relativa (%) y velocidad de viento (m/s).

a. Precipitación

La información pluviométrica fue obtenida del SENAMHI³. La información corresponde a 33 estaciones pluviométricas dentro del ámbito de las cuencas, 16 estaciones se ubican dentro de la cuenca Rímac, 8 en la cuenca Chillón, 5 en la cuenca Lurín y 4 en la cuenca del Mantaro, la información detallada se presenta en la Tabla 2 y Figura 7.

Como parte del trabajo de campo se realizó dos visitas de campo para conocer el estado de las estaciones climáticas (Figura 8) y, además, se hizo las solicitudes de información de algunas estaciones que son administradas por empresas privadas (hidroeléctricas) quienes operan en las zonas altas de la cuenca Rímac y Mantaro.

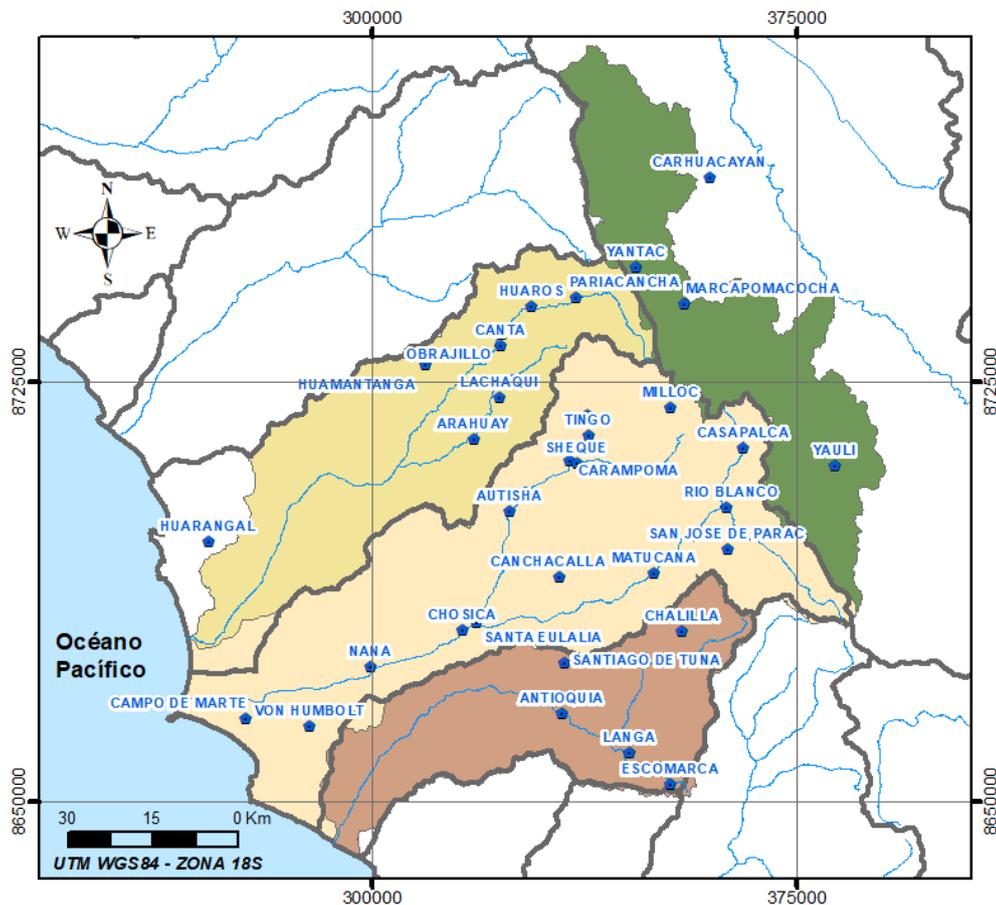


Figura 7: Estaciones climáticas con información pluviométrica en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro

FUENTE: Elaborado con información de ANA (2019) y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (2017)

³ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

Tabla 2: Estaciones climáticas con información pluviométrica en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro

CUENCA	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM-WGS84			PERIODO
		ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m.)	
Rímac	Chosica	315992	8680641	906	1990-2016
	Santa Eulalia	318478	8681965	959	1964-2016
	Campo de Marte	277600	8664815	123	1971-1982
	Von Humbolt	288918	8663618	246	1980-2016
	Ñaña	299786	8674047	522	1964-2016
	Autisha	324423	8701902	2304	1980-2016
	Canchacalla	333184	8690150	2400	1988-2016
	Matucana	349896	8690880	2418	1964-2016
	Carampoma	334878	8710822	3442	1966-2016
	Sheque	336236	8710455	3278	1988-2016
	Mina Colqui	338235	8719068	4600	1969-1994
	Milloc	352781	8720495	4390	1986-2010
	Rio Blanco	362759	8702511	3496	1987-2016
	Tingo	338284	8715412	4200	1996-2016
	San José de Parac	362934	8695208	3828	1981-2016
Casapalca	365562	8713181	4259	1988-2016	
Chillón	Huarangal	271168	8696548	410	1980-2011
	Arahuay	317936	8714856	2576	1980-2016
	Lachaqui	322639	8722256	3697	1963-2016
	Huamantanga	309426	8728108	3340	1964-2016
	Huaros	328099	8738507	3633	1964-2016
	Canta	322671	8731413	2974	1964-2016
	Obrajillo	323037	8733474	2760	2004-2016
Pariacancha	336080	8740156	3883	1969-2016	
Lurín	Antioquia	333714	8665776	1442	1965-2016
	Langa	345554	8658898	2872	1980-2016
	Santiago de Tuna	334056	8674851	2859	1964-2016
	Chalilla	354777	8680438	3975	1969-1983
	Escomarca	352900	8653066	3651	1964-2016
Mantaro	Carhuacayán	359888	8761601	4150	1969-2016
	Yantac	346732	8745412	4641	1969-2016
	Marcapomacocha	355387	8738954	4460	1968-2016
	Yauli	381919	8710079	4150	1997-2016

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)



Figura 8: Vistas de la Estación CO Yantac - cuenca Mantaro

b. Temperatura

La variable temperatura es importante ya que influye en los procesos de evaporación y evapotranspiración, en el área de estudio existen una mayor cantidad de estaciones pluviométricas pocas estaciones que miden la variable temperatura, sin embargo, se ha procurado obtener la mayor cantidad de datos disponibles. El detalle de las estaciones se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Estaciones climáticas con información de temperatura (°C) en las cuencas Rímac, Chillón y Alto Mantaro

CUENCA	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM-WGS84			PERIODO
		ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m.)	
Rímac	Campo de Marte	277600	8664815	123	2000-2011
	Ñaña	299786	8674047	522	1970-2011
	San Mateo de Otao	329674	8689892	3513	2014-2016
	Matucana	349896	8690880	2418	1982-2016
	Casapalca	365562	8713181	4259	2014-2016
Chillón	Huarangal	271168	8696548	410	1980-2007
	Huaros	328099	8738507	3633	2014-2016
Mantaro	Marcapomacocha	355387	8738954	4460	1984-2013

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)

c. Humedad relativa y velocidad de viento

La información de estas variables resulta escasa al no tener suficientes estaciones adecuadamente implementadas en el ámbito de las cuencas, la mayoría de estaciones solo

son pluviométricas y no existe equipamiento para medir el resto de variables, sin embargo, se ha procurado obtener la mayor cantidad de datos disponibles. El detalle de las estaciones se presenta en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4: Estaciones climáticas con información de humedad relativa (%)

CUENCA	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM-WGS84			PERIODO
		ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m.)	
	Campo de Marte	277600	8664815	123	2000-2011
Rímac	Ñaña	299786	8674047	522	1970-2011
	Matucana	349896	8690880	2418	1982-2013
Chillón	Huarangal	271168	8696548	410	1980-2007
Mantaro	Marcapomacocha	355387	8738954	4460	1984-2013

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)

Tabla 5: Estaciones climáticas con información de velocidad de viento (m/s)

CUENCA	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM-WGS84			PERIODO
		ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m.)	
	Campo de Marte	277600	8664815	123	2000-2011
Rímac	Ñaña	299786	8674047	522	1975-2011
	Matucana	349896	8690880	2418	1982-2013
Chillón	Huarangal	271168	8696548	410	1999-2003
Mantaro	Marcapomacocha	355387	8738954	4460	1982-2013

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)

3.1.6 Información hidrométrica

Se obtuvo información de las siguientes estaciones: Chosica, Yuracmayo, Sheque, Río Blanco, San Mateo y Milloc, ubicadas dentro del ámbito de la cuenca Rímac, se precisa que la estación Milloc registra el caudal trasvasado a través del túnel trasandino incluyendo el propio escurrimiento de su cuenca colectora; Puente Magdalena, Obrajillo y Pariacancha, ubicadas en la cuenca del río Chillón; y, Manchay, ubicada en la cuenca del río Lurín, se precisa que esta estación actualmente no se encuentra operativa. Todas estas estaciones fueron utilizadas para calibrar el modelo hidrológico (Tabla 6). La información fue obtenida gracias al apoyo del Proyecto de Adaptación de la Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Urbanas al Cambio Climático con la Participación del Sector Privado – PROACC.

En la Tabla 7 se presenta, a manera de resumen, la serie mensual multianual de caudales por estación. En las Figuras 56 al 65, del ANEXO 1, se presentan los hidrogramas para cada estación.

Tabla 6: Estaciones hidrométricas en las cuencas Rímac, Chillón y Lurín

CUENCA	ESTACIÓN	COORDENADAS UTM-WGS84			PERIODO
		ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m.)	
Rímac	Yuracmayo	374149	8691173	4292	1965-1996
	Río Blanco	362763	8702499	3498	1965-1996
	San Mateo	358230	8699634	3158	1969-1989
	Milloc	352777	8720593	4365	2000-2016
	Sheque	336280	8710426	3173	1965-2016
	Chosica	315980	8680634	873	1965-2016
Chillón	Pariacancha	336079	8740114	3843	1969-1977
	Obrajillo	323032	8733475	2701	1965-2016
	Puente Magdalena	299758	8706560	934	1965-2016
Lurín	Manchay	300584	8656696	205	1965-2016

FUENTE: Elaborado con información brindada por PROACC

Tabla 7: Caudales mensuales multianuales (m³/s) de las estaciones hidrométricas presentes en las cuencas Rímac, Chillón y Lurín

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA	ESTACIÓN												PROM.
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Pariacancha	4.1	4.7	4.9	3.0	1.4	0.9	0.7	0.8	1.4	2.4	2.1	3.2	2.5
Obrajillo	7.5	10.2	11.3	7.4	3.4	2.3	2.0	1.9	2.2	2.9	3.4	5.0	5.0
Puente Magdalena	12.1	17.7	21.4	12.1	4.6	2.6	1.8	1.8	1.6	2.3	3.2	6.4	7.3
Manchay	6.2	11.8	13.7	7.6	2.7	1.1	0.7	0.4	0.3	0.4	1.1	3.2	4.1
Yuracmayo	1.8	3.0	3.1	1.9	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.5	0.6	1.3	1.2
Río Blanco	4.7	7.3	7.3	4.3	1.8	1.0	0.8	0.8	0.9	1.1	1.7	3.0	2.9
San Mateo	17.6	22.3	22.9	17.8	12.5	9.2	7.6	7.0	7.4	8.5	10.2	13.4	13.0
Milloc	5.3	6.0	6.9	6.7	5.9	7.2	6.9	7.0	7.1	7.7	8.1	6.4	6.8
Sheque	13.1	17.9	19.5	14.2	9.2	9.3	10.0	10.9	10.8	10.4	10.2	10.5	12.2
Chosica	38.5	53.7	62.2	41.7	24.9	21.3	20.3	20.4	20.2	20.7	22.6	27.5	31.2

FUENTE: Elaborado con información brindada por PROACC

Las estaciones hidrométricas de la cuenca Rímac miden caudales se encuentran bajo un régimen intervenido (trasvase y almacenamiento) por lo que fue necesario esquematizar la infraestructura hidráulica con sus respectivas reglas de operación para poder representar,

adecuadamente, este régimen tanto durante los meses de avenida como de estiaje. En el caso de las cuencas Chillón y Lurín la información hidrométrica en sus estaciones si presentan un comportamiento natural.

Como parte de los trabajos de campo se realizó la visita de algunas estaciones (Figuras 9 y 10).



Figura 9: Estación hidrométrica Obrajillo – cuenca Chillón



Figura 10: Estación hidrométrica San Mateo- cuenca Rímac

3.1.7 Información de infraestructura hidráulica construida al 2018

Durante el trabajo de campo se ha recorrido el sistema de embalses y canales que almacenan y conducen el agua para su posterior trasvase a la cuenca del río Rímac. El reconocimiento previo y el recorrido posterior fue apoyado con imágenes satelitales del programa *Google Earth*.

El trabajo de campo consistió en conocer en el sitio, la disposición de la infraestructura y recabar información sobre su funcionamiento en lo referido a: los meses que almacenan el agua y los meses que empiezan a entregarla; las reglas de operación de los embalses, sus volúmenes máximos de salida y sus prioridades de descarga; la red de canales y sus respectivas dimensiones; así como otros aspectos importantes para la elaboración del modelo de gestión en WEAP.

a. Sistema de la cuenca del río Rímac

El río Rímac presenta dos subcuencas importantes, la del río Santa Eulalia y la del río San Mateo, denominado también río Rímac, produciéndose la confluencia de ambos ríos cerca de la localidad de Chosica.

Se han realizado diversas obras para afianzar los caudales de extracción, debido a la creciente demanda, con dos sistemas propios de la cuenca del río Rímac (subsistema Santa Eulalia y subsistema San Mateo) y un sistema proveniente de la cuenca alta del río Mantaro.

Como sistemas propios de la cuenca Rímac, se tiene la presa Yuracmayo, con capacidad de 48,3 hm³, ubicada en la subcuenca del río Blanco y 15 lagunas reguladas en Santa Eulalia, con capacidad total de 77,0 hm³ (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018).

• Obras hidráulicas del subsistema Santa Eulalia

El río Santa Eulalia nace en la Cordillera Central y confluye con el río Rímac, recibiendo el mismo nombre. Se desarrolla en dirección sur-oeste a nor-este, recibiendo durante su recorrido los aportes de ríos y quebradas en ambas márgenes, lo que incrementa su descarga, siendo los más importantes Pilligua, Shuncha, Yana y Potoga, por la margen izquierda, y Sacsa, Collque y Huasca, por la margen derecha.

Los represamientos de la cuenca alta del río Santa Eulalia datan de 1875, habiéndose ejecutado el último en 1940, totalizando 15 lagunas represadas (ver Figura 11), las cuales tienen en conjunto una máxima capacidad útil de almacenamiento de 77,0 hm³. Adicionalmente, en la cuenca del río Santa Eulalia, existe una obra de desarenación y un "pulmón" de regulación en Sheque, utilizada en la operación de la CH Huinco.

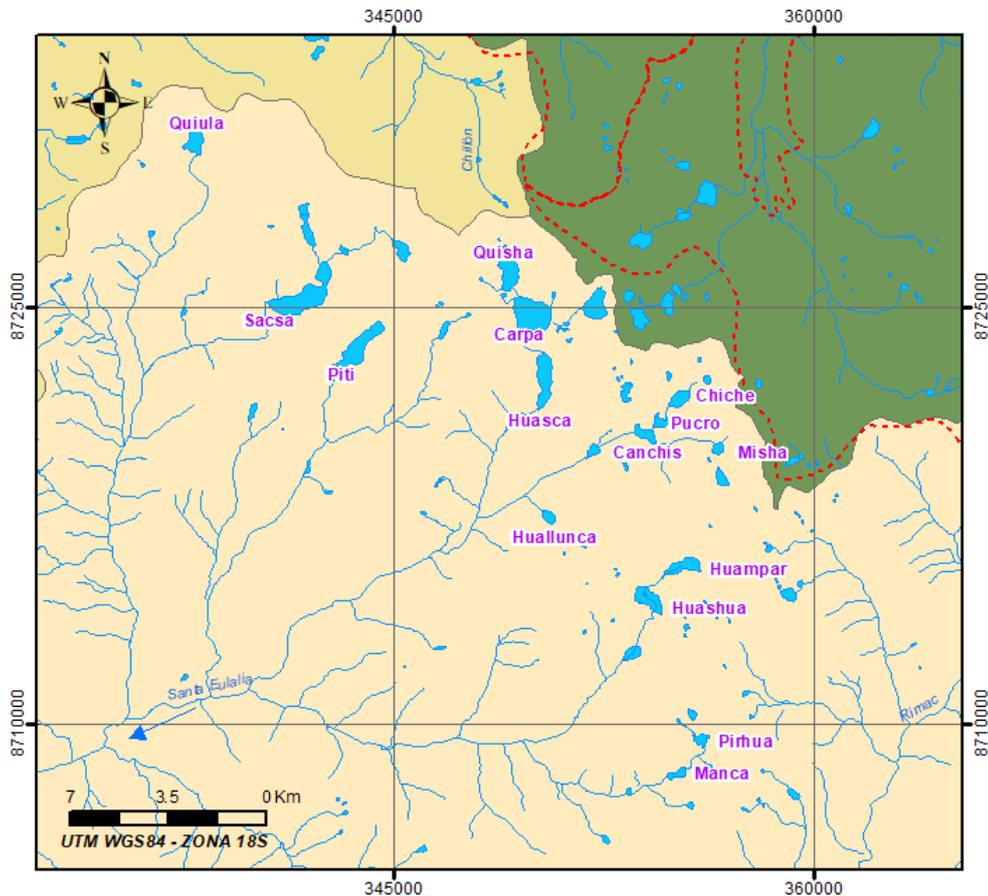


Figura 11: Ubicación de las lagunas reguladas en la subcuenca Santa Eulalia

FUENTE: Elaborado con información de ANA (2019)

A continuación, se presenta una breve descripción de las obras hidráulicas existentes.

- Laguna Quiula: su represamiento regula 5,20 km² de cuenca colectora y se ubica en las nacientes del río Quiula, habiendo sido construido en 1940. El embalse tiene una capacidad útil de 1,90 hm³, con una superficie máxima del espejo de agua de 0,45 km². La presa es de mampostería de piedra de 5,60 m de altura, disponiendo su sistema de descarga de una compuerta de 0,70 m de ancho.

- Laguna Sacsa: su represamiento regula 32.50 km² de cuenca colectora y se ubica en las nacientes del río Sacsa, siendo construido en 1875. El embalse tiene una capacidad bruta de 17,10 hm³ y una útil de 16,20 hm³, con una superficie máxima del espejo de agua de 1,63 km². La presa es de mampostería de piedra de 13,00 m de altura, disponiendo su sistema de descarga de una compuerta de 0,70 m de ancho.
- Laguna Quisha: represada desde 1875, regula 7,80 km² de cuenca colectora. Se ubica en las nacientes del río Huasca. El embalse tiene una capacidad bruta de 9,15 hm³ y una útil de 8,70 hm³, con una superficie máxima del espejo de agua de 0,65 km². La presa es del tipo arco-gravedad, de 16,60 m de altura, disponiendo su sistema de descarga de dos compuertas de 0,70 m de ancho y un canal de descarga a la laguna Carpa.
- Laguna Piticuli: su represamiento regula 7,10 km² de cuenca colectora y se ubica en las nacientes del río Pili, habiendo sido construido en 1925. El embalse tiene una capacidad bruta de 7,10 hm³ y una útil de 6,50 hm³, con superficie máxima del espejo de agua de 1,02 km². La presa es de mampostería de piedra de 9,90 m de altura, disponiendo su sistema de descarga de una compuerta de 0,90 m de ancho.
- Laguna Carpa: represada desde 1875, regula 18,5 km² de cuenca colectora. Se ubica en las nacientes del río Huasca. El embalse tiene una capacidad bruta de 21,20 hm³ y una útil de 17,80 hm³, con una superficie máxima del espejo de agua de 1,35 km². La presa es del tipo arco-gravedad, de 16.40 m de altura, disponiendo su sistema de descarga de dos compuertas de 0,70 m de ancho y un canal de descarga a la laguna Huasca.
- Laguna Huasca: su represamiento regula 27,20 km² de cuenca colectora y se ubica en las nacientes del río Huasca, siendo construido en 1875. El embalse tiene una capacidad bruta de 6,55 hm³ y una útil de 6,30 hm³, con una superficie máxima del espejo de agua de 0,90 km². La presa es de mampostería de piedra de 9,00 m de altura, con sistema de descarga de dos compuertas de 0,90 m de ancho y un canal de descarga al río Huasca.
- Laguna Misha: represada desde 1875, regula un área de cuenca de 3,10 km². Se ubica en las nacientes del río Misha. El embalse tiene una capacidad útil de 0,65 hm³, con una superficie máxima del espejo de agua de 0,13 km². La presa es de mampostería de piedra de 5,30 m de altura, disponiendo su sistema de descarga de una compuerta de 0,90 m de ancho y un canal de descarga al río.

- Laguna Chiche: represada desde 1930, regula un área de 7,90 km². Se ubica en la naciente del río Canchis. El embalse tiene una capacidad bruta de 2,70 hm³ y útil de 2,30 hm³, con superficie máxima del espejo de agua de 0,35 km². La presa es de mampostería de piedra de 9,50 m de altura, disponiendo su sistema de descarga de una compuerta de 0,90 m de ancho y un canal de descarga a la laguna Pucro. Se encuentra casi por encima del Túnel Trasandino de Marcapomacocha, motivo por el cual, desde la construcción de éste, se pierde por infiltración gran parte de su almacenamiento, al actuar dicho túnel como un dren.
- Laguna Pucro: represada desde 1875, regula un área de cuenca de 9,40 km². Se ubica en las nacientes del río Canchis. El embalse tiene una capacidad bruta de 2,08 hm³ y una útil de 2,00 hm³, con una superficie máxima del espejo de agua de 0,22 km². La presa es de mampostería de piedra de 10,30 m de altura, disponiendo su sistema de descarga de una compuerta de 0,90 m de ancho y un canal de descarga a la laguna Canchis. Esta laguna, desde la construcción del Túnel Trasandino, pierde por infiltración gran parte de su capacidad de almacenamiento, toda vez que dicho túnel actúa como un dren.
- Laguna Canchis: represada desde 1925, regula un área de cuenca de 26,50 km². Se ubica en las nacientes del río Canchis. El embalse tiene una capacidad bruta de 2,26 hm³ y una útil de 2,10 hm³, con una superficie máxima del espejo de agua de 0,40 km². La presa es de mampostería de piedra de 10,30 m de altura, disponiendo su sistema de descarga de una compuerta de 0,90 m de ancho y una galería de descarga al río Canchis. Esta laguna, desde la construcción del Túnel Trasandino, pierde por infiltración gran parte de su capacidad de almacenamiento, al igual que en el caso de la laguna Chiche.
- Laguna Huashua: represada desde 1875, se ubica en las nacientes del río Suncha, a 2 km aguas arriba de la localidad de Cruzpampa. El embalse tiene una capacidad bruta de 5,70 hm³, una capacidad útil de 5,10 hm³ y una superficie máxima del espejo agua de 0,60 km². La presa regula los recursos hídricos de una cuenca de 16,80 km², es de mampostería de piedra y tiene una altura de 13,90 m. Su sistema de descarga está compuesto por una compuerta de 0,90 m de ancho, un canal de descarga y un canal de fondo. Ver Figura 12.



Figura 12: Visita de campo a la laguna Huashua

- Laguna Huampar: represada desde 1926, se ubica en las nacientes del río Suncha. El embalse tiene una capacidad bruta de $3,80 \text{ hm}^3$, una útil de $3,30 \text{ hm}^3$ y una superficie máxima del espejo de agua de $0,52 \text{ km}^2$. La presa regula los recursos de una cuenca de $8,90 \text{ km}^2$, es de mampostería de piedra y tiene una altura de $9,80 \text{ m}$. Su sistema de descarga está compuesto por una compuerta de $0,90 \text{ m}$ de ancho y un canal de descarga a la laguna Paucar.
- Laguna Huallunca: represada desde 1940, se ubica junto al pueblo de Venturosa, desaguando al río Canchis. El embalse tiene una capacidad útil de $1,60 \text{ hm}^3$ y una superficie máxima del espejo de agua de $0,20 \text{ km}^2$. La presa regula los recursos de una cuenca de $6,30 \text{ km}^2$, es de tierra y tiene una altura de $12,10 \text{ m}$. Su sistema de descarga está compuesto por una compuerta de $0,90 \text{ m}$ de ancho y un canal de descarga.
- Laguna Pirhua: represada desde 1876, se ubica en las nacientes del río Yanacocha. El embalse tiene una capacidad bruta de $1,00 \text{ hm}^3$, una útil de $0,90 \text{ hm}^3$ y una superficie máxima del espejo de agua de $0,15 \text{ km}^2$. La presa regula los recursos hídricos de una cuenca de $2,30 \text{ km}^2$, es de mampostería de piedra y tiene una altura de $9,00 \text{ m}$. Su sistema

de descarga está compuesto por una compuerta de 0,90 m de ancho, un canal de descarga a la laguna Manca y un canal de fondo.

- Laguna Manca: represada desde 1875, se ubica en las nacientes del río Yanacocha. El embalse tiene una capacidad bruta de 1,73 hm³, una útil de 1,60 hm³ y una superficie máxima del espejo de agua de 0,13 km². La presa regula los recursos hídricos de una cuenca de 7,10 km², es de mampostería de piedra y tiene una altura de 14,80 m. Su sistema de descarga está compuesto por una compuerta de 0,90 m de ancho, un canal de descarga y un canal de fondo.

- **Obras hidráulicas del subsistema San Mateo**

El embalse Yuracmayo ha sido construido sobre el río Blanco, afluente del río San Mateo, con la finalidad de aumentar el caudal regulado en estiaje, contribuyendo a dar mayor garantía al abastecimiento de agua para uso poblacional y energético. Entró en funcionamiento en enero de 1995, regulando 99,00 km² de cuenca receptora. Su volumen de almacenamiento útil es de 48,3 hm³. Ver Figura 13.



Figura 13: Represa Yuracmayo ubicada sobre el río Blanco en la cuenca Rímac

b. Sistema de la cuenca del Alto Mantaro

La parte alta de la cuenca del río Mantaro se sitúa hacia el lado oeste, adyacente a las cuencas Chillón y Rímac, presentando una forma alargada., comprende altitudes desde los 4350 hasta 5362 m.s.n.m. A su área receptora le corresponde las diferentes captaciones que permiten la derivación y trasvase de las aguas reguladas a la subcuenca del río Santa Eulalia.

Se distinguen los siguientes afluentes principales: río Sapicancha y parte alta de los afluentes del Corpacancha. En la parte alta del río Sapicancha se ubica un sistema de lagunas en serie, principalmente, las lagunas Marcapomacocha, Antacoto, Marcacocha, Sapicancha y Yantac; mientras que en Corpacancha se ubican las lagunas de Sangrar y Tucto.

En la Figura 14 se presenta la ubicación de los proyectos Marcapomacocha.

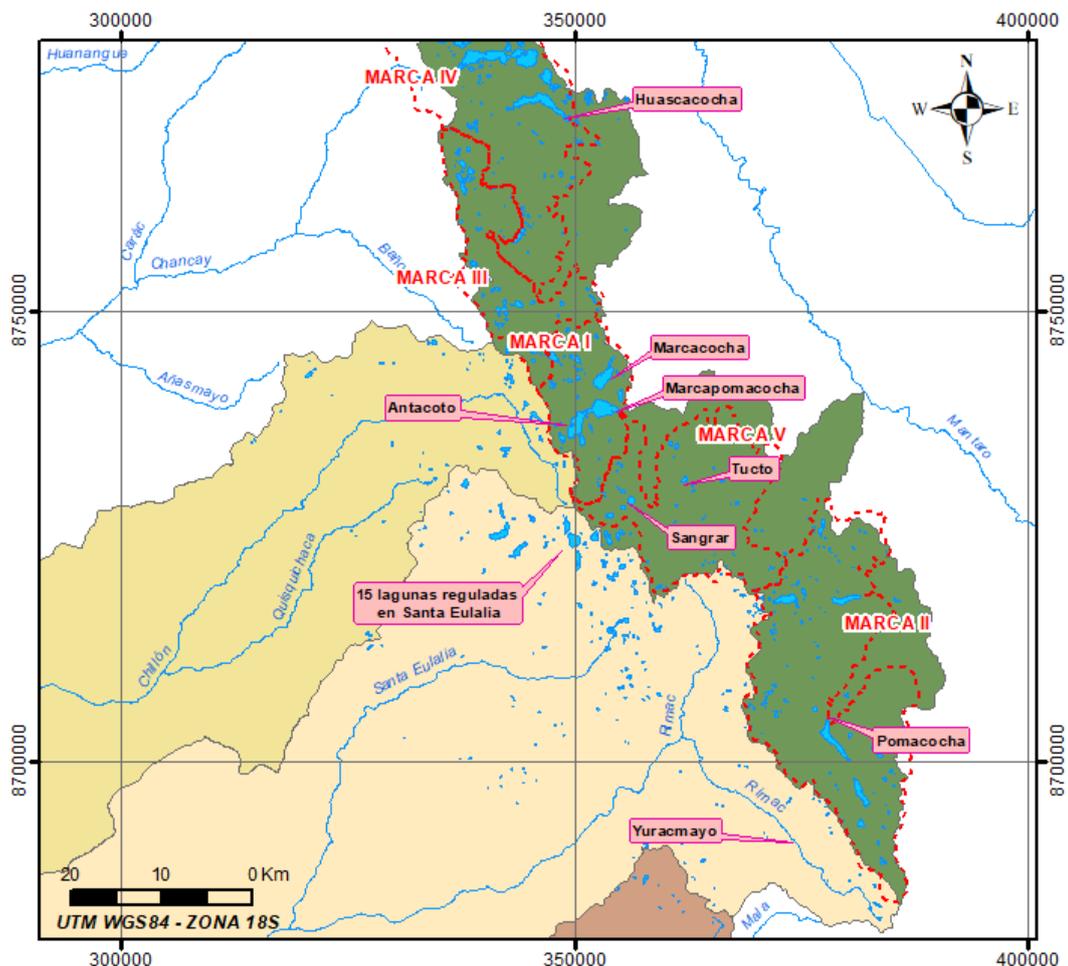


Figura 14: Ubicación de los embalses en la cuenca Alto Mantaro y en la subcuenca del río Blanco perteneciente a la cuenca Rímac

FUENTE: Elaborado con información de ANA (2019)

De acuerdo a la información revisada en Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2018), en la cuenca Alto Mantaro, se tiene el sistema Marcapomacocha (Marca I, Marca II y Marca IV), donde Marca I (37 hm³), fue el primero en ejecutarse en 1966, seguido de Marca III (120 hm³), ejecutado en 1999 y, el último proyecto terminado en el 2012 conocido como Marca IV (79 hm³) el cual regula las aguas de la laguna Huascacocha. Cabe resaltar que los proyectos Marca II y Marca V aún no han sido construidos.

- **Sistema de trasvase Mantaro - Rímac**

La derivación de Marcapomacocha entró en operación en 1963, para lo cual se dispuso de una regulación de hasta cuatro lagunas represadas. Las lagunas son utilizadas buscando mantener durante el estiaje del río Santa Eulalia un caudal estable que responda a la satisfacción de las demandas, teniendo en cuenta inclusive, los aportes de la Derivación Marcapomacocha, iniciándose la apertura de las compuertas por lo general en mayo y terminando de cerrarlas aproximadamente a fines de noviembre y a veces en diciembre.

El sistema Marcapomacocha, trasvasa el volumen de agua regulada en la cuenca alta de los ríos Corpacancha, Carhua, y Sapicancha, mediante un conjunto de obras hidráulicas constituidas por estructuras de regulación y conducción, hacia la subcuenca del río Santa Eulalia a través del Túnel Transandino (Figura 15), el cual tiene 10,10 km de longitud y conduce un caudal máximo de hasta 14,50 m³/s.



Figura 15: Fotografía del túnel trasandino. (izquierda) Ingreso del flujo hacia el túnel. (derecha) salida desde el túnel hacia el río Santa Eulalia

En noviembre de 1999 entró en operación el subsistema Marca III, con la captación y conducción de agua de avenidas (noviembre-abril) de las cuencas de los ríos Cosurcocha y Casacancha, mediante canales y túneles para entregar las aguas, a través del Túnel Patahuay-Sapicancha, hacia la laguna Sapicancha, discurriendo por el río Sapicancha hasta su captación en la bocatoma Antashupa, utilizando el canal del mismo nombre hasta la laguna Antacoto.

La Derivación Marcapomacocha (Marca I, Marca III y Marca IV), está integrado por:

- La laguna Huascacocha (volumen útil de 79,0 hm³) deriva sus aguas hacia el río Sapicancha, su área regulada es de 164,4 km².
- La laguna Sangrar (volumen útil de 8,80 hm³) que recibe el aporte del río Shiusha.
- Los caudales regulados de la laguna Tucto (volumen útil de 2,75 hm³) y de la subcuenca no regulada Tucto-Carhua, y los ríos Huarmi y Corpacancha, conduciendo todas estas aguas hacia la boca de entrada del Túnel Trasandino a través del canal Tucto-Sangrar.
- La laguna Antacoto (volumen útil de 120,0 hm³) que recibe el aporte del río Sapicancha.
- Las lagunas Marcacocha (volumen útil 12,70 hm³) y Marcapomacocha (volumen útil de 15,5 hm³), ésta última recibe los caudales de los embalses Antacoto y Marcacocha y entrega al canal Marcapomacocha, el cual conduce las aguas hasta la boca de entrada al Túnel Trasandino.
- Las derivaciones de las aguas captadas de las quebradas de las subcuencas de los ríos Cosurcocha y Casacancha.
- El área de la cuenca receptora regulada en la Derivación Marcapomacocha es la siguiente: el represamiento Antacoto tiene 50,80 km². El represamiento Marcacocha tiene 12,60 km² y Marcapomacocha 82,20 km²; además, el represamiento de Sangrar tiene una cuenca de 19,90 km² y la represa de Tucto de 10,3 km².
- Las cuencas no reguladas que aportan a la laguna Antacoto poseen un área colectora de 111,30 km² y las cuencas no reguladas de sector de Sangrar y Tucto tiene un área de 84,10 km². El área no regulada total es de 195,40 km².

- **Obras hidráulicas del subsistema Marca I**

- Laguna Antacoto: ubicada en las nacientes del río Curihuay, aguas arriba de la laguna Marcapomacocha, recibiendo, además, el aporte del río Sapicancha por medio del canal colector Yactac (Antacoto o Antashupa). El represamiento fue puesto en servicio en 1966. La cuenca receptora de los recursos regulados tiene una extensión de 105 km². En su etapa inicial, con el subsistema Marca I, la presa de mampostería tuvo 12 m de altura, con un sistema de descarga que conduce las aguas a la laguna de Marcapomacocha y una capacidad de almacenamiento de 71 hm³, con una superficie de espejo de agua máxima de 3,60 km², con el subsistema Marca III, la represa almacena 120 hm³. Ver Figura 16.



Figura 16: Embalse Antacoto – cuenca Alto Mantaro

- Laguna Marcacocha: ubicada en las nacientes del río Marcacocha, aguas arriba de la laguna Marcapomacocha. Tiene una cuenca colectora de 12,6 km² y presenta una superficie de espejo de agua máxima de 2,70 km²; la presa es de mampostería y tiene una altura de 450 m. Fue puesta en servicio en 1966.
- Laguna Marcapomacocha: ubicada sobre río Sapicancha, cerca al pueblo Marcapomacocha. La cuenca total, receptora del embalse, tiene 145,60 km² y una superficie de espejo de agua máxima de 3,30 km². La presa es de mampostería, de 6 m de altura y capacidad de almacenamiento de 15,50 hm³. Fue puesta en servicio en 1965.

- Laguna Sangrar: ubicada en las nacientes del río Corpacancha y recibe además de sus recursos propios, los correspondientes del río Shiusha, por medio de un canal de derivación. Su cuenca receptora es de 19,90 km² y la superficie de espejo de agua máxima es 0,50 km². La presa de mampostería tiene 23,50 m de altura y una capacidad de almacenamiento de 8,80 hm³.
- Laguna Tucto: ubicada en las nacientes del río Corpacancha. Su cuenca receptora es de 6 km². La presa es de concreto y dispone de un sistema de descarga de una compuerta de 0,70 m de ancho y tiene una capacidad de almacenamiento de 2,75 hm³.
- Canal Colector Tucto-Antajasha-Cuevas-Sangrar: este canal que nace en la margen izquierda del río Tucto, conduce las aguas descargadas de la laguna de Tucto y de su cuenca no regulada, así como de la quebrada Carhua, entregándolas aguas arriba de la toma de Antacasha, que además capta los recursos propios de su cuenca, derivándose posteriormente por el canal Antajasha-Cuevas-Sangrar. Desde la toma Sangrar sale un canal hasta el Túnel Trasandino, captando en su recorrido las aguas del río Huarmi y las derivadas desde la captación Sangrar. Ver Figura 17.



Figura 17: Canal colector Tucto – Antajasha – Cuevas – Sangrar

- **Obras hidráulicas del subsistema Marca III**

- Derivación de la cuenca del río Cosurcocha: consta de 4,62 km de canales de capacidad máxima de 1,30 m³/s, 6 bocatomas (Andacancha, Ashuán 1, Ashuán 2 y Ashuán 3, Pocacocha y Cushurococha), siendo los recursos hídricos trasvasados a la cuenca del río Casacancha, mediante el Túnel Río Pallanga-Tuctococha de 2929 m de longitud.
- Derivación de la cuenca del río Casacancha que comprende las siguientes obras: (1) el canal de salida del Túnel Río Pallanga-Tuctococha, con una longitud de 4,5 km y capacidad máxima de 1,3 m³/s; (2) 14,7 km de canal Tuctococha-Entrada Túnel Patahuay-Sapicancha, de 5,7 m³/s de capacidad máxima y 2 bocatomas (Tuctococha y Mariac); (3) Ramal Alpamarca que capta las aguas de la laguna Aguascocha; (4) canal Cauquis Machay – Inicio Sifón Quiulacocha, de 4,5 km de longitud y capacidad máxima de 1,44 m³/s, incluye 3 bocatomas Cauquis Machay, Yanque y Pucacancha; (5) canal Tayco – fin del Sifón Quiulacocha, tiene 1,85 km de longitud y 0,60 m³/s de capacidad, incluye 2 bocatomas (Tayco y Culap); (6) Corresponde al canal Pucpush – entrada Túnel Patahuay – Sapicancha, de 9,32 km de longitud y capacidad máxima de 0,90 m³/s, incluye tres derivaciones (bocatomas Pucpush, Chuquicocha y Antahuancán).
- Túnel Patahuay – Sapicancha: Tiene una longitud de 5529 m y una sección tipo herradura modificada (baúl).
- Canal Antashupa: canal de 11,5 m³/s de capacidad. El canal tiene 1,61 km.
- Regulación embalse Laguna Antacoto: consiste en la ampliación a 120 hm³ de capacidad de almacenamiento, comprendiendo la sobre elevación del nivel de presa hasta la elevación de 4445 m.s.n.m., con una altura máxima de 16,5 m.

- **Obras hidráulicas del subsistema Marca IV**

Comprende el represamiento de la laguna Huascacocha con volumen útil de 79 hm³, que deriva sus aguas hacia el río Sapicancha durante el periodo de estiaje (mayo a noviembre), iniciando con el desembalse de todo el sistema Marcapomacocha. Ver Figura 18.



Figura 18: Embalse Huascacocha (Marca IV) – cuenca Alto Mantaro

c. Sistema de la cuenca del río Chillón

Entre las principales lagunas reguladas en la cuenca, se tiene a la de Chuchón (Figura 19) con un volumen de 9,36 hm³, Azulcocha con un volumen de 7,38 hm³, Leoncocha con un volumen de 3,04 hm³ y la laguna Yanacocha con un volumen de 1,23 hm³. El uso de estos embalses es netamente agrícola.

Además, de acuerdo a lo revisado en ANA (2018), se planteó la construcción de una planta de tratamiento, ubicada en el distrito de Carabayllo, para tratar aguas superficiales y subterráneas, que sería abastecido por un embalse de 44,0 hm³ de capacidad.



Figura 19: Laguna Chuchón, se observa en el fondo la zona de la represa

d. Sistema de la cuenca del río Lurín

En la información revisada de ANA (2018), se indica que en la cuenca se han realizado mini-represamientos por los mismos pobladores en zonas aledañas a lagunas en el distrito de San Andrés de Tupicocha los cuales son utilizados para abastecer sus demandas agrícolas.

e. Resumen de los sistemas regulados

El volumen de almacenamiento total en los embalses, que actualmente sirve como reserva para el abastecimiento poblacional de la ciudad de Lima, es 361,4 hm³ (Figura 20). Estos embalses se ubican en las cuencas Rímac y Alto Mantaro.

Estos embalses son controlados por una empresa generadora de energía eléctrica y SEDAPAL, cumpliendo la función de abastecer el recurso hídrico a las centrales hidroeléctricas de la cuenca Rímac y distribuyendo el agua oportunamente para el uso poblacional.

Los embalses de Chillón y Lurín son para uso agrícola.

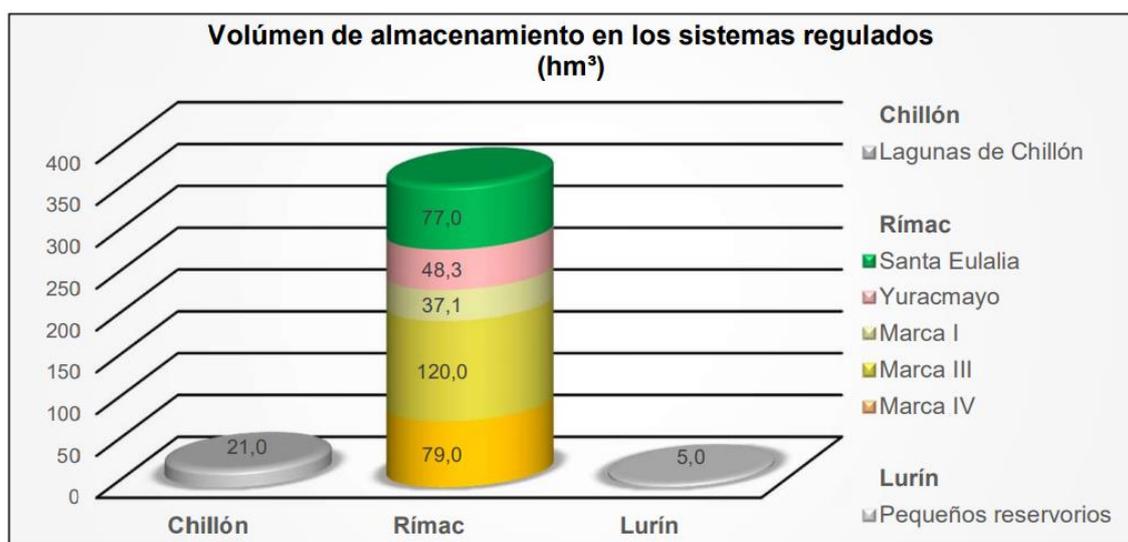


Figura 20: Volumen de almacenamiento en los sistemas regulados

FUENTE: ANA (2018)

En la Tabla 8 se presenta el detalle de los embalses que regulan el sistema hídrico de abastecimiento poblacional de la ciudad de Lima.

Tabla 8: Detalles de los embalses

CUENCA	EMBALSE	PROYECTO	ÁREA REGULADA (km ²)	VOLUMEN ÚTIL (hm ³)
Alto Mantaro	Antacoto	Marca III	50,8	120,0
	Marcacocha	Marca I	12,6	10,7
	Marcapomacocha	Marca I	82,2	14,8
	Sangrar	Marca I	19,9	8,8
	Tucto	Marca I	10,3	2,8
	Huascacocha*	Marca IV	164,4	79,0
Rímac	Chiche	Santa Eulalia	7,9	2,3
	Pucro	Santa Eulalia	9,4	2,0
	Canchis	Santa Eulalia	26,5	2,1
	Misha	Santa Eulalia	0,1	0,7
	Huallunca	Santa Eulalia	6,3	1,6
	Quisha	Santa Eulalia	7,8	8,7
	Carpa	Santa Eulalia	18,5	17,8
	Huasca	Santa Eulalia	27,2	6,3
	Huampar	Santa Eulalia	8,9	3,3
	Huashua	Santa Eulalia	16,8	5,1
	Pirhua	Santa Eulalia	2,3	0,9
	Manca	Santa Eulalia	0,1	1,6
	Piti	Santa Eulalia	7,1	6,5
	Quiula	Santa Eulalia	5,2	1,9
	Sacsa	Santa Eulalia	32,5	16,2
Yuracmayo**	Río Blanco	99,0	48,3	
Total			615,8	361,4

* Huascacocha inicia en 2013

** Yuracmayo inicia en 1997

FUENTE: Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín [OA CHIRILU] (2019)

3.1.8 Información de infraestructura hidráulica futura

La información revisada en Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL] (2014) indica que el propósito primordial de la formulación de los proyectos de ampliación de fuentes de agua, es el de cerrar la brecha entre la oferta y la creciente demanda en el ámbito jurisdiccional de SEDAPAL, dentro del horizonte de planeamiento al 2044.

Asimismo, indican que para disminuir la brecha se debe incrementar la capacidad de producción de agua potable, y a su vez se debe procurar incrementar las medidas para reducir la vulnerabilidad del recurso hídrico en las cuencas proveedoras.

En SEDAPAL (2014) se explica que para la identificación de nuevos proyectos alternativos para Lima y Callao ha sido necesario recopilar una extensiva información desarrollada en los últimos años.

Los proyectos alternativos se han clasificado en proyectos de ampliación del agua superficial proveniente de cada cuenca próxima a Lima, y de proyectos de optimización de las aguas subterráneas, como el uso conjuntivo.

a. Criterios de selección de proyectos

En SEDAPAL (2014) se han seleccionado proyectos que tienen un mayor indicador económico y condiciones de viabilidad técnica, posteriormente realizaron el análisis de alternativas que incluye una posible combinación de estos proyectos, los que deberían desarrollarse en grupo con un periodo de espera de 5 años.

La selección de las posibles combinaciones ha sido realizada de acuerdo a los estudios existentes y a la experiencia adquirida en la formulación de proyectos similares. El componente de las aguas subterráneas solo es utilizado para llenar algunos de los déficits en el balance oferta/demanda del abastecimiento total a la ciudad de Lima.

b. Proyectos seleccionados por SEDAPAL para el horizonte de planeamiento al 2044

En la Tabla 9 se presenta el resumen de proyectos, la información con mayor detalle se puede revisar en la bibliografía correspondiente a (SEDAPAL, 2014).

Tabla 9: Proyectos actuales y futuros para abastecimiento poblacional de la ciudad de Lima

N°	PROYECTOS	CAUDAL (m ³ /s)						
		2013	2015	2020	2025	2030	2035	2040
	Agua superficial río Rímac (1) + (8)	19,06	19,06	24,76	24,76	26,56	27,91	27,91
1	Río Rímac (caudal natural + Marca I + Marca III + Yuracmayo + 15 lagunas Subcuenca Santa Eulalia). Incluye pérdidas entre Estación Chosica y La Atarjea por uso ribereño del agua (irrigación + industria), infiltración (depósito fluvial ancho y profundo) y evaporación.	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80
2	Derivación Huascacocha - Río Rímac.	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63
3	Obras de cabecera y conducción para abastecimiento de Agua para Lima (Incluye derivación Pomacocha - Río Blanco).			5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
4	Nueva presa Casacancha + Optimización del sistema Marca III.					1,80	1,80	1,80
5	Ampliación del túnel Graton.						1,50	1,50
6	nuevo embalse Autisha para abastecimiento de San Juan de Lurigancho.			1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
7	Pérdidas en conducción hasta Chosica por irrigación y evaporación (-).	0,37	0,37	0,87	0,87	0,87	1,02	1,02
8	Aportes netos de nuevos proyectos = (2) + (3) + (4) + (5) + (6) - (7)	2,26	2,26	7,96	7,96	9,76	11,11	11,11
	Agua superficial río Chillón (12)	0,00	0,00	2,65	2,25	2,25	2,25	2,25
9	Embalse San Antonio Escondido (conducción entubada).			1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
10	Embalse Jacaybamba (conducción por cauce de río).			1,80	1,40	1,40	1,40	1,40
11	Pérdida en conducción hasta Punchauca por irrigación, infiltración y evaporación (-).			0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
12	Aportes netos de nuevos proyectos = (9) + (10) - (11)	0,00	0,00	2,65	2,25	2,25	2,25	2,25
	Desalinización de agua de mar (13) + (14)	0,00	0,00	0,25	0,40	0,40	0,40	1,90
13	Planta de osmosis en Lima Sur - PROVISUR (2017 - 2023 y 2023 - 2038)			0,25	0,40	0,40	0,40	0,40
14	Planta de osmosis en Ventanilla							1,50
	Cuenca del río Chancay - Pozos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50
15	Explotación de aguas subterráneas en cuenca baja del río chancay.							1,50
	Aguas subterráneas (Solo uso de SEDAPAL) (16) + (17) + (18)	4,50	4,50	4,50	4,90	4,90	4,90	4,90
16	Extracción y recarga del río Chillón	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
17	Pozos SEDAPAL - Explotación equilibrada del acuífero (**)	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
18	Extracción y recarga del río Lurín				0,40	0,40	0,40	0,40
	Total de oferta en estiaje	23,56	23,56	32,16	32,31	34,11	35,46	38,46

FUENTE: SEDAPAL (2014)

3.1.9 Información sobre abastecimiento de la demanda poblacional del periodo 1965 - 2018

El agua potable que abastece a la ciudad de Lima es administrada por SEDAPAL, las fuentes utilizadas son del tipo superficial y subterránea. Las principales fuentes superficiales son los ríos Rímac y Chillón; en el primero de ellos se han emplazado las bocatomas para la PTAP La Atarjea y PTAP Huachipa; mientras que en el segundo se ha construido la bocatoma para la PTAP Agua Azul.

A continuación, se describen cada uno de los sistemas de captación de agua potable.

a. Bocatoma La Atarjea

La bocatoma La Atarjea está emplazada en el río Rímac y se mantiene operativa durante todo el año, capta las aguas trasvasadas de la cuenca del Mantaro junto con lo reservado en las lagunas de la cuenca del río Rímac. Cuenta con dos captaciones (uno en cada margen), las cuales pueden tomar hasta un caudal máximo de 10 m³/s cada una. Ver Figura 21.

Durante la primera fase de construcción solo se contaba con una captación, luego en 1983 se puso en marcha la construcción de la segunda captación.



Figura 21: Imagen satelital de la PTAP La Atarjea

FUENTE: Elaborado en base a imagen satelital de *Google Earth*

b. Bocatoma Huachipa

La bocatoma Huachipa ha sido dimensionada para captar un caudal máximo de 10 m³/s cuando entren en operación las dos fases previstas. La primera fase entró en funcionamiento en el 2014, captando un caudal máximo de 5 m³/s en su primera fase de operación. Para la segunda fase, aún sin operar, se incrementará el caudal captado en 5 m³/s adicionales llegando así a completar el caudal de diseño. Ver Figura 22.

El recurso hídrico que capta proviene del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac (Marca IV).



Figura 22: Imagen satelital de la PTAP Huachipa

FUENTE: Elaborado en base a imagen satelital de Google Earth

c. Bocatoma Agua Azul

Esta bocatoma es administrada por el consorcio del mismo nombre, se encuentra emplazada sobre el río Chillón y posee licencia para captar sus aguas solo durante la época de avenidas (diciembre - abril). Ver Figura 23.

El Consorcio Agua Azul S.A., empresa Concesionaria del Proyecto “Aprovechamiento Óptimo de las aguas Superficiales y Subterráneas del Río Chillón”, se dedica a la producción de agua potable para la empresa de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL, quien a su vez abastece a los distritos del cono norte de la ciudad de Lima.



Figura 23: Imagen satelital de la PTAP Agua Azul

FUENTE: Elaborado en base a imagen satelital de Google Earth

3.1.10 Demanda poblacional del periodo 1965 - 2018

Se adoptó como valor de demanda para el periodo 1965-2018, la producción de agua potable reportada por SEDAPAL, estos volúmenes integran los recursos superficiales captados en las bocatomas La Atarjea, Huachipa y Agua Azul; así como los recursos subterráneos extraídos de los pozos ubicados a lo largo del acuífero de la capital. La información fue obtenida gracias al apoyo Proyecto de Adaptación de la Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Urbanas al Cambio Climático con la Participación del Sector Privado – PROACC.

En la Figura 24 se muestra la evolución la producción de agua potable para el abastecimiento poblacional de la ciudad de Lima, provenientes de fuentes del tipo superficial y subterránea, estos volúmenes serán ingresados al modelo WEAP como nodo de demanda poblacional.

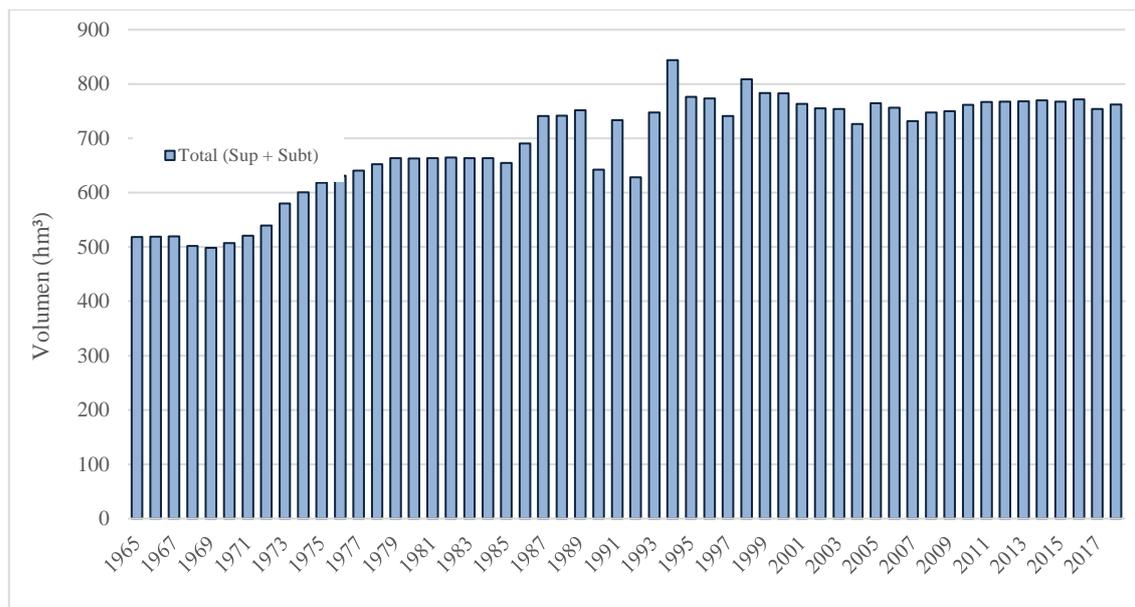


Figura 24: Producción de agua potable para abastecimiento poblacional. Periodo 1965 – 2018

FUENTE: Elaborado con información del PROACC

3.1.11 Demanda poblacional futura

El periodo futuro de evaluación está comprendido entre los años 2019 -2045. Con fines de balance hídrico futuro se va a tomar en cuenta dos escenarios de demanda, el primero será un escenario tendencial, es decir, mantiene la tendencia de crecimiento actual, mientras que el segundo escenario tendrá un crecimiento más alto.

a. Crecimiento tendencial

Para calcular el volumen requerido de agua superficial se ha utilizado las siguientes consideraciones:

- La cantidad de habitantes en la ciudad de Lima al 2017 que equivale a 9,3 millones de habitantes de acuerdo al censo realizado por el INEI;
- La tasa de crecimiento anual de 1,2 por ciento según la fuente descrita anteriormente; y,
- El valor de dotación de agua en ciudades que resulta un valor de 150 l/hab/día de acuerdo a la Norma OS.100 “Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria” ubicada dentro del Título II “Habilitaciones urbanas” del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Si bien en esta norma se establecen más valores, se ha tomado en cuenta este valor considerando que, en la ampliación de la ciudad de Lima, los programas de vivienda se

ubicarán mayoritariamente en la periferia de la ciudad (se incluye los programas de condominios modernos en zonas ya urbanizadas) y tendrán un área menor o igual a 90 m², además debido a las características de la ciudad, se encuentran en un clima templado a cálido.

El resultado de las consideraciones antes descritas genera una tasa de incremento de 7,0 hm³/año, la cual fue utilizada para aumentar los volúmenes de agua de fuente superficial.

Para calcular el volumen requerido de agua subterránea, proyectada para el periodo futuro, se utilizó el criterio descrito en el Plan Maestro Optimizado 2015 – 2044 de SEDAPAL, que indica que con fines de preservar el acuífero de la zona costera se debe mantener una tasa de extracción de 4,0 m³/s, equivalente a un volumen anual de 126,1 hm³.

La suma de estos dos volúmenes (superficial y subterráneo) generó el volumen total de demanda con crecimiento tendencial. Ver la Figura 25.

b. Crecimiento alto

En el Plan Maestro Optimizado 2015 – 2044 revisado en SEDAPAL (2014) se han determinado las demandas poblacionales hasta el 2044, donde se ha tenido en cuenta la proyección de consumos domésticos y no domésticos, las pérdidas físicas y usos operacionales, así de forma agregada se obtuvo la cantidad de agua potable demandada para el periodo de planeamiento de dicho plan.

Este análisis fue realizado a nivel de “Centro de Servicios” los cuales agrupan todos los distritos de la ciudad de Lima.

Se ha denominado “crecimiento alto” debido a que los volúmenes calculados en el Plan Maestro Optimizado 2015 – 2044 de SEDAPAL son superiores a los volúmenes calculados mediante el crecimiento tendencial.

Finalmente, los volúmenes ingresados al modelo para el análisis de escenarios futuros se presentan en la Figura 25.

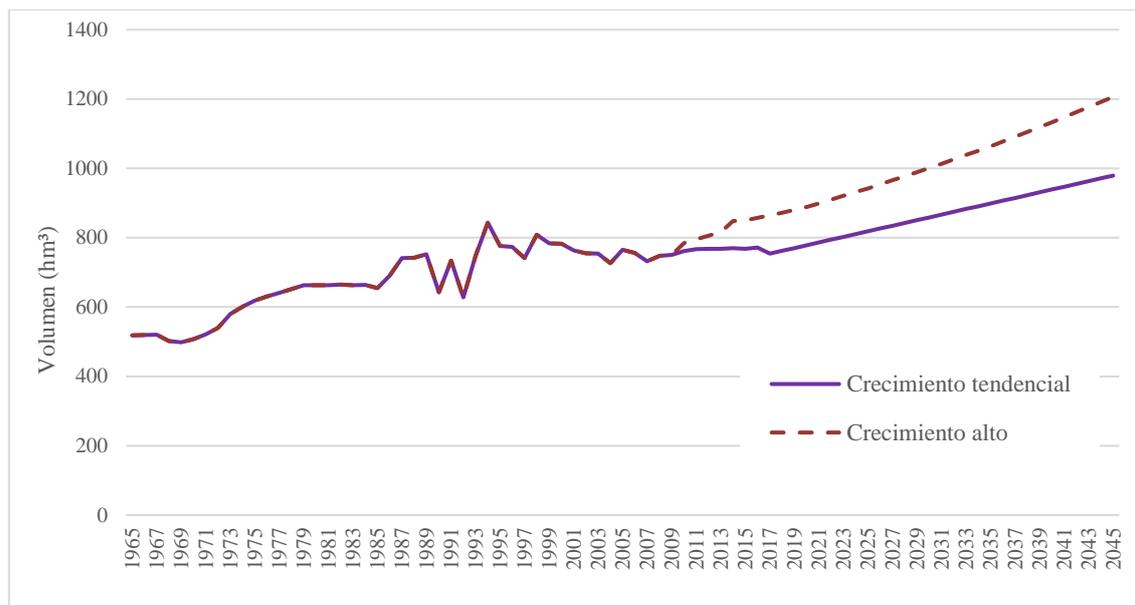


Figura 25: Demanda de agua potable para abastecimiento poblacional proyectado al 2045

FUENTE: Elaborado con información del PROACC y SEDAPAL (2014)

3.2 METODOLOGÍA

La metodología desarrollada, para el logro de los objetivos de la presente investigación, fue dividida en 5 etapas.

- i. Elaboración, calibración y validación del modelo hidrológico en WEAP (objetivo específico 1).
- ii. Análisis de la disponibilidad hídrica de las cuencas (objetivo específico 1).
- iii. Análisis del nivel de regulación de las cuencas aportantes (objetivo específico 2).
- iv. Elaboración del modelo de gestión en WEAP (objetivo específico 3).
- v. Balance hídrico del periodo 1965-2018 y balance hídrico de escenarios futuros (objetivo específico 3).

En la Figura 26 se presenta el diagrama de la metodología desarrollada.

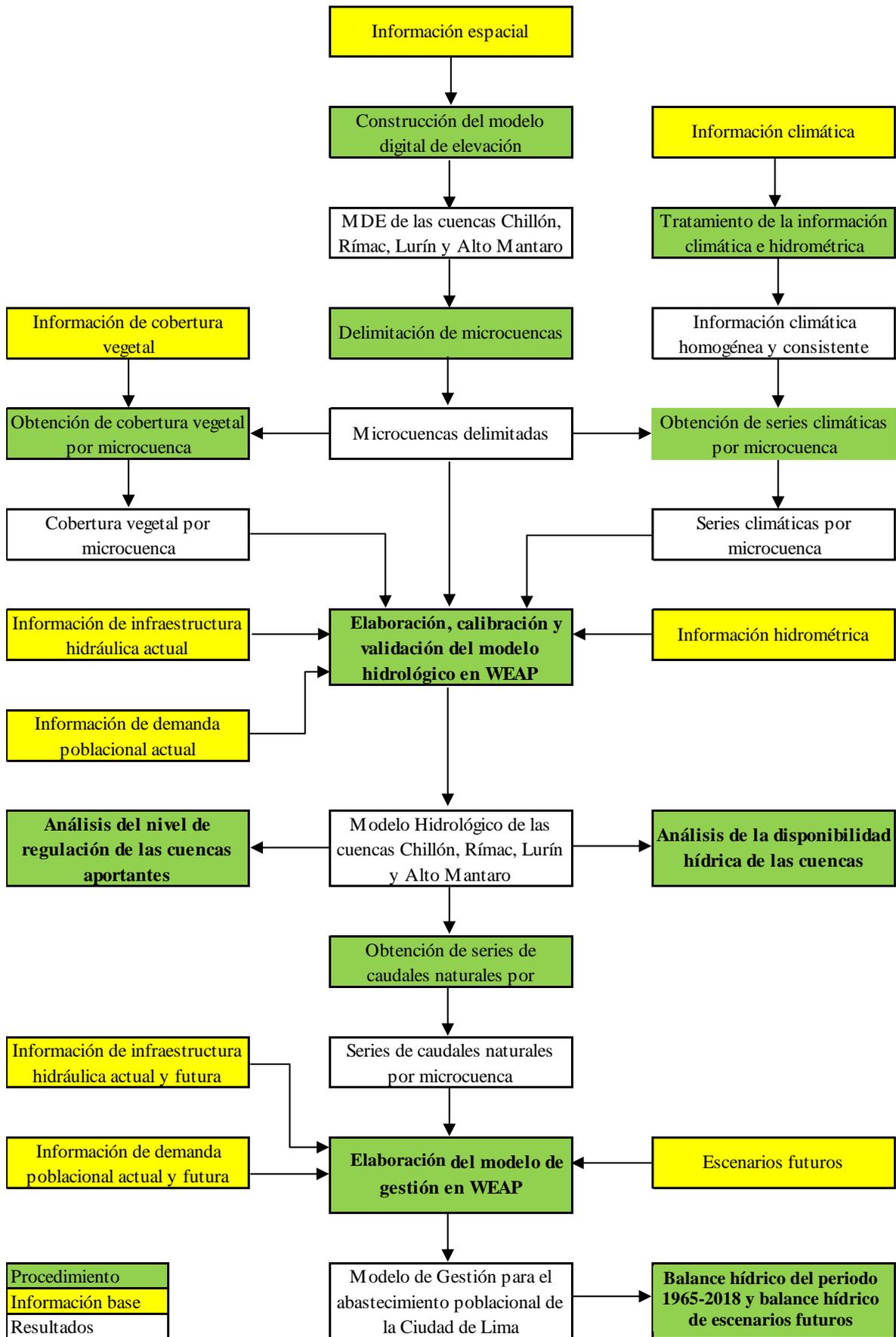


Figura 26: Diagrama de la metodología desarrollada

3.2.1 Elaboración, calibración y validación del modelo hidrológico en WEAP

Para la elaboración del modelo hidrológico se utilizó la siguiente información:

- Información espacial, descrita en el capítulo 3.1.3.
- Información de cobertura vegetal, descrita en el capítulo 3.1.4
- Información climática, descrita en el capítulo 3.1.5.
- Información hidrométrica, descrita en capítulo 3.1.6.
- Información de infraestructura, descrita en el capítulo 3.1.7
- Información de demanda del periodo 1965 - 2018, descrita en el capítulo 3.1.10

El procedimiento seguido se describe a continuación.

a. Generación del modelo digital de elevación

Con la información de curvas de nivel proveniente de la carta nacional se procedió a generar el modelo digital de elevación (MDE), éste representa a una superficie bidimensional con información de altitud en cada pixel. Posteriormente se recortó el área de estudio con base en la delimitación de unidades hidrográficas realizado por la Autoridad Nacional del Agua. Este procedimiento fue realizado con el programa libre QGIS.

El MDE generado se utilizó para la delimitación de las microcuencas del modelo hidrológico.

b. Delimitación de microcuencas

El proceso de delimitación de microcuencas se realizó con el fin de obtener series de caudales generados por el modelo hidrológico en los puntos de interés actual y futuro para la gestión de los recursos hídricos. El criterio de delimitación corresponde la ubicación de confluencias de ríos, confluencias de quebradas, captación de centrales hidroeléctricas, ubicación de estaciones hidrométricas, sitios de emplazamiento de presas, puntos de derivación de caudal, entre otros.

Las microcuencas delimitadas fueron codificadas de la forma “*letra - número*”, donde el primer término “letra” corresponde a letra inicial de las cuencas, siendo: (R) para la cuenca Rímac, (C) para la cuenca Chillón, (L) para la cuenca Lurín y (AM) para la cuenca Alto Mantaro. Cada letra inicial va precedida por el término “número” que representa una

numeración ascendente siguiendo el criterio de ubicación, es decir los primeros valores corresponden a las microcuencas ubicadas en la parte alta de las cuencas y los valores finales para aquellas ubicadas a menor altitud. En el caso de la cuenca Alto Mantaro la numeración inicia con las microcuencas ubicadas al sur y finalizan con aquellas más al norte.

c. Obtención de cobertura vegetal por microcuenca

Con la información de cobertura vegetal del MINAM, se procedió a obtener los porcentajes de cobertura por microcuenca.

El primer paso que consistió en el agrupamiento de coberturas ya que inicialmente se contó con quince tipos de cobertura, sin embargo, algunas de ellas como por ejemplo “bosque relicto altoandino” eran muy pequeñas (representaba menos del 0,01 por ciento) por lo que fue agrupada a la cobertura más cercana. Con fines hidrológicos esta agrupación de coberturas no influyó significativamente en la generación de escorrentía, sin embargo, cuando se desea modelar áreas específicas a mayor detalle, se podría analizar la influencia de la agrupación de coberturas especiales.

Como segundo paso se utilizó la información de cobertura vegetal agrupada y se obtuvo las áreas de cobertura para cada microcuenca. Los valores obtenidos (porcentaje de cada cobertura por microcuenca) se incluyeron al modelo elaborado en WEAP para estimar los valores de los parámetros de acuerdo a la clasificación de cobertura.

d. Tratamiento de la información climática e hidrométrica

El procedimiento descrito a continuación fue aplicado por completo a la variable precipitación; para el caso de la información hidrométrica, se realizó el análisis exploratorio debido a que la información que se obtuvo, ya se encontraba debidamente tratada.

- **Análisis exploratorio de datos:** consistió en realizar el análisis visual de la información y se eliminaron los valores extremos (*outlayers*) que no tenían relación con el resto de valores para una misma estación, este proceso fue realizado para todas las estaciones y variables.
- **Análisis “cluster”:** corresponde al agrupamiento de estaciones de acuerdo al comportamiento de sus variables como latitud, altitud y comportamiento de la variable a nivel medio mensual.

- **Análisis del vector regional de índices pluviométricos:** se realizó en cada uno de los grupos o *cluster* obtenidos en el paso anterior; el vector regional permitió conocer cuáles fueron las estaciones que presentaban saltos y/o quiebres.
- **Análisis de consistencia:** se identificaron los períodos de posible corrección, se aplicó el análisis estadístico Fisher y Student para determinar consistencia en la media y desviación estándar. Asimismo, se corrigieron los periodos inconsistentes.
- **Completación de la información:** obtenidas las series de precipitación corregidas y consistentes por estación, se procedió con la completación de datos faltantes para el periodo 1965 - 2018, para ello se utilizó el programa HEC 04.
- **Correlación de la variable vs. la altitud:** se realizó la correlación y se elaboró el mapa de Isoyetas.

Como primer paso para el tratamiento de las variables temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, se realizó análisis exploratorio de datos, identificando posibles valores “*outlayers*”; luego, debido a la poca variación entre sus valores (en comparación con la variable precipitación), se calcularon los promedios mensuales y anuales en cada estación; finalmente se realizó la correlación entre los promedios mensuales y anuales de cada variable versus la altitud la estación.

e. Obtención de series climáticas por microcuenca

Las series climáticas por microcuenca fueron obtenidas mediante la selección de estaciones cercanas y la posterior interpolación de sus valores mensuales, este procedimiento fue realizado para cada mes de cada año del periodo de evaluación, obteniéndose así, las series a paso de tiempo mensual, para el periodo 1965 – 2018.

f. Elaboración del modelo hidrológico

El modelo hidrológico fue elaborado con el programa WEAP y para ello se utilizó los archivos en formato *shapefile* que delimitan las cuencas y microcuencas, la información de la distribución de cobertura vegetal, la información climática (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad de viento) e hidrométrica (caudales) homogénea y consistente.

El periodo de simulación fue 1965 - 2018, con un total de 54 años.

- **Esquema del modelo**

La infraestructura hidráulica, la demanda poblacional de la ciudad de Lima, los ríos y acuíferos fueron esquematizados como elementos en el modelo (topología). Una consideración importante para la construcción del modelo es el aporte del túnel Gratón, con fines de calibración se adoptó el valor presentado en Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín (2019), que indica que para la época de estiaje se presenta un caudal medio de 4,75 m³/s, para la época de avenidas se estimó el aporte en 7,6 m³/s.

- **Calibración y validación**

La calibración y validación del modelo se realizó como cuenca intervenida, es decir, con el sistema de almacenamiento, distribución y trasvase activo, y la demanda en pleno funcionamiento. Se establecieron 10 puntos de control y se seleccionaron los periodos correspondientes para ambos procesos. Ver Tabla 10.

Tabla 10: Periodos de registro para la calibración y validación

CUENCA	ESTACIÓN HIDROMÉTRICA	PERIODO DE REGISTRO	PERIODO DE CALIBRACIÓN	PERIODO DE VALIDACIÓN
Chillón	Pariacancha	1969 – 1977	1969 - 1972	1973 - 1977
	Obrajillo	1965 - 2016	1965 - 1990	1991 - 2016
	Puente Magdalena	1965 - 2016	1965 - 1990	1991 - 2016
Lurín	Manchay	1965 - 2016	1965 - 1990	1991 - 2016
Rímac	Yuracmayo	1965 - 1996	1965 - 1980	1981 - 1996
	Río Blanco	1965 - 2016	1965 - 1980	1981 - 2016
	San Mateo	1969 - 1989	1969 - 1979	1980 - 1989
	Milloc	2000 - 2016	2000 - 2008	2009 - 2016
	Sheque	1965 - 2016	1965 - 1990	1991 - 2016
	Chosica	1965 - 2016	1965 - 1990	1991 - 2016

FUENTE: Elaborado con información brindada por PROACC

La calibración consistió en el ajuste de los parámetros del suelo; como punto de partida se tomó valores referenciales de los parámetros del modelo de acuerdo lo revisado en UC y SEI (2009), donde se presentan valores para cuencas calibradas en Perú, Chile y EE.UU.

La aproximación fue desarrollada manualmente, controlando los parámetros más sensibles del modelo, en cada uno de los “*catchments*”.

Se evaluó la calibración y validación con los estadísticos Nash, BIAS y Error Medio Cuadrático.

g. Obtención de series de caudales naturales por microcuenca

La naturalización de caudales en el modelo WEAP se realizó desactivando los elementos que representan la infraestructura hidráulica y demandas que hacen uso consuntivo del agua. Se obtuvieron series de caudales naturales por microcuenca para todos los meses del periodo 1965 – 2018, los cuales se utilizaron como insumo para la elaboración del modelo de gestión.

Los caudales naturales obtenidos están compuestos por la escorrentía directa, el interflujo y el flujo base, este último proviene del almacenamiento de humedad en el suelo durante la época de avenidas.

3.2.2 Análisis de la disponibilidad hídrica de las cuencas

a. Disponibilidad hídrica en régimen natural

Se analizó disponibilidad hídrica natural para el periodo 1965 - 2018, esto permitió saber y entender cuanto es la oferta propia de agua en cada una de las cuencas. En base a estos resultados se elaboraron gráficos de disponibilidad mensual a niveles de persistencia de 50 por ciento, como caudal promedio; 75 por ciento, utilizado para usos agrícola; y, 95 por ciento para uso poblacional.

Este análisis, fue realizado para las cuencas Chillón, Rímac y Lurín, en los tramos de río donde se ubican la E.H Puente Magdalena, la E.H. Chosica y el Puente Manchay, respectivamente. Se ha considerado que, a partir de estos sitios, el agua precipitada en la cuenca no incrementa la oferta hídrica.

b. Disponibilidad hídrica en régimen intervenido

Se obtuvo la disponibilidad hídrica bajo un régimen intervenido (periodo 1965 – 2018), es decir, con operación de la infraestructura construida en las cuencas. Este análisis, fue realizado para las cuencas Chillón, Rímac y Lurín, en los tramos de río donde se ubican la E.H Puente Magdalena, la E.H. Chosica y el Puente Manchay, respectivamente. El resultado obtenido fue comparado con el resultado en régimen natural para cada cuenca.

3.2.3 Análisis del nivel de regulación de las cuencas aportantes

Se analizó el nivel de regulación de las cuencas Rímac y Alto Mantaro -en el tramo de río Rímac donde se ubica la E.H. Chosica- considerando: (i) los flujos en régimen natural; y, (ii) los flujos en régimen intervenido, que contempla el escurrimiento natural, la regulación de los embalses en el Rímac, y el trasvase desde la cuenca del Alto Mantaro (obtenidos a partir del caudal transcurrido por el túnel trasandino).

El sistema existente de abastecimiento de agua comprende obras de almacenamiento y trasvase, de 22 embalses en las cuencas Rímac y Alto Mantaro con un volumen útil de 361,4 hm³. El último embalse construido y puesto en operación fue Huascacocha en el 2014.

Con fines de evaluar la inclusión de todas las obras de afianzamiento se analizó el periodo 2014 – 2018.

3.2.4 Elaboración del modelo de gestión

La diferencia entre el modelo hidrológico y el de gestión radica en que, en el primero de ellos se enfatizó el proceso hidrológico de precipitación-escorrentía, obteniendo un modelo calibrado que representó de forma adecuada los caudales que se generan en una determinada unidad de cuenca. De los resultados del modelo hidrológico, se utilizaron principalmente los caudales naturales generados, como insumo para la elaboración del modelo de gestión.

El modelo de gestión fue elaborado en WEAP, este permitió evaluar escenarios futuros para el periodo de evaluación 2019 – 2045, para este proceso se tomó en cuenta la siguiente información:

- Esquema topológico del modelo hidrológico elaborado en WEAP.
- Series de caudales naturales para el periodo 1965 -2018.
- Serie de caudales futuros para el periodo 2019-2045.
- Proyectos de infraestructura hidráulica, descrita en los capítulos 3.1.7 y 3.1.8.
- Demanda poblacional del periodo 1965 - 2018 y futura, descrito en los capítulos 3.1.10 y 3.1.11, respectivamente.

Los caudales naturales para el periodo futuro 2019 -2045, fueron seleccionados a partir de la serie anterior (1965 – 2018), es decir, se tomó en cuenta el criterio que, en el futuro es posible que se repitan los años (tanto secos, normales y húmedos) que ocurrieron durante las últimas décadas.

Los escenarios futuros incluidos en el modelo resultaron de la combinación de dos factores: (i) variación de demanda y (ii) desarrollo de los proyectos de infraestructura; obteniéndose cuatro escenarios futuros propuestos. Ver Tabla 11.

Tabla 11: Determinación de escenarios futuros

COMBINACIÓN DE ESCENARIOS	SIN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA FUTURA (SOLO INFRAESTRUCTURA CONSTRUIDA AL 2018)	CON PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA FUTURA (INCLUYE INFRAESTRUCTURA CONSTRUIDA AL 2018)
Crecimiento tendencial	Escenario 1	Escenario 3
Crecimiento Alto	Escenario 2	Escenario 4

Con este modelo se procedió a realizar el balance hídrico del periodo 1965-2018 y el balance hídrico de escenarios futuros.

3.2.5 Balance hídrico del periodo 1965-2018 y balance hídrico futuro

El análisis del balance hídrico del sistema de abastecimiento poblacional de Lima, comprendió la descripción de los siguientes componentes:

- i. La oferta hídrica superficial, que corresponde para el caso del balance del periodo 1965 – 2018, al volumen de agua captado por las bocatomas construidas actualmente, mientras que, para el caso de los escenarios futuros a aquellas obras establecidas en el PMO elaborado por SEDAPAL.
- ii. La oferta hídrica subterránea, que para el caso del balance del periodo 1965 - 2018 corresponde a los volúmenes extraídos del acuífero Chillón-Rímac a través de los pozos construidos; y, para el caso futuro, a los proyectos de incremento del caudal de extracción y la ampliación de nuevos pozos en Lima Sur, para ambos casos, la extracción máxima estuvo controlada ya que se procuró mantener el régimen de bombeo recomendado para la conservación del acuífero.

- iii. El volumen de agua entregada para la satisfacción de la demanda, que corresponde al volumen de agua que se ha podido entregar a la población, es una fracción de la demanda total.
- iv. El déficit de demanda, que corresponde al volumen de agua que no ha sido posible entregar a la población, la suma absoluta de los volúmenes de agua entregada y déficit de demanda genera la demanda total poblacional de Lima.

El balance hídrico futuro fue realizado para el periodo 2019-2045.

Finalmente, se analizó la confiabilidad del sistema en el tiempo mediante la relación:

$$\text{Confiabilidad en el tiempo} = 1 - \frac{\# \text{ de meses con déficit}}{\# \text{ total de meses}} \quad \text{Ec. 21}$$

Se consideró un mes con déficit cuando el valor de cobertura es menor al 90 por ciento a nivel mensual, es decir, cuando el volumen de agua entregada es inferior al 90 por ciento de la demanda para ese mismo mes.

La confiabilidad en el tiempo del sistema de abastecimiento poblacional fue considerada como “adecuada” cuando esta resultó igual o mayor al 95 por ciento, es decir se consideró un umbral del 5 por ciento.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HIDRICA DE LAS CUENCAS CHILLÓN, RÍMAC, LURÍN Y ALTO MANTARO

4.1.1 Modelo hidrológico en WEAP

a. Modelo digital de elevación

El rango de altitudes va desde los 0 a 5597 m.s.n.m., correspondiente a la zona de cordillera en la divisoria de la vertiente del Pacífico y Atlántico. Ver Figura 27.

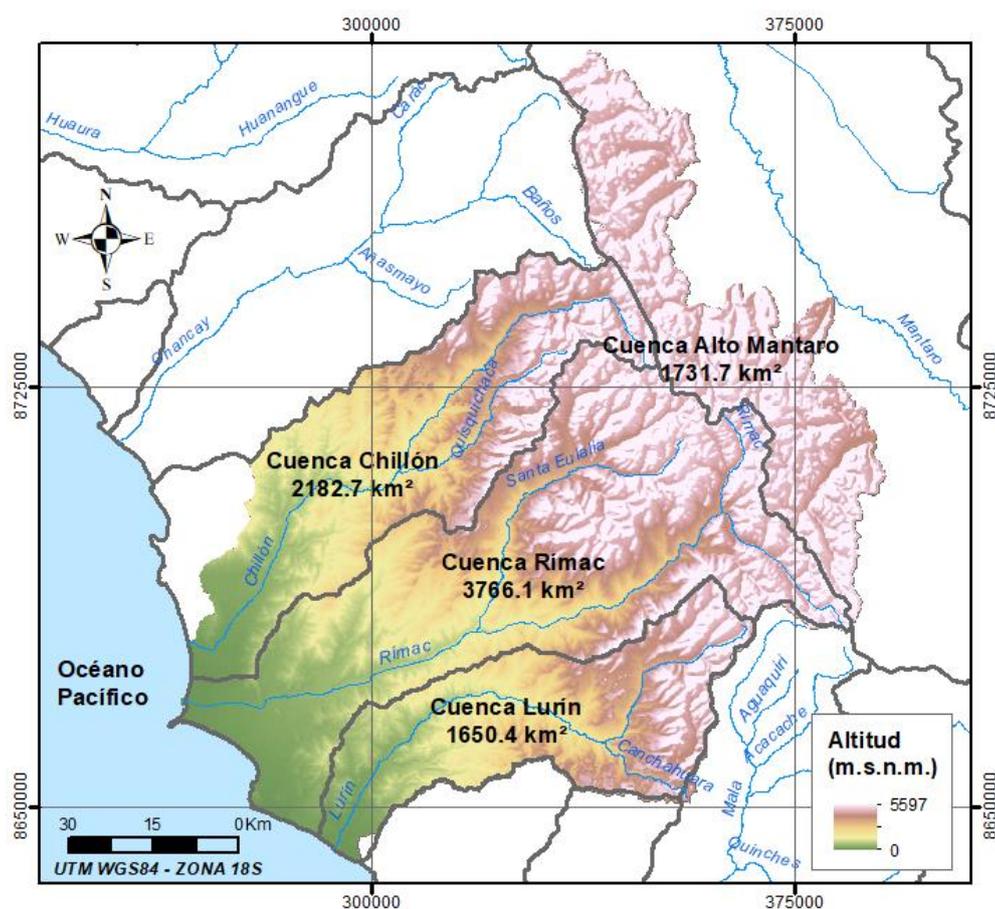


Figura 27: Modelo digital de elevación de las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro

FUENTE: Elaborado con información de ANA (2019) y Ministerio de Educación [MINEDU] (2017)

b. Microcuencas delimitadas

Las microcuencas delimitadas se distribuyen de la siguiente manera:

- Cuenca Rímac : 36 microcuencas
- Cuenca Chillón : 16 microcuencas
- Cuenca Lurín : 11 microcuencas
- Cuenca del Alto Mantaro : 43 microcuencas

En la Figura 28 se presenta el mapa de distribución de microcuencas. En las Tablas 12 a 15, se presenta la distribución de microcuencas y el criterio adoptado para su delimitación.

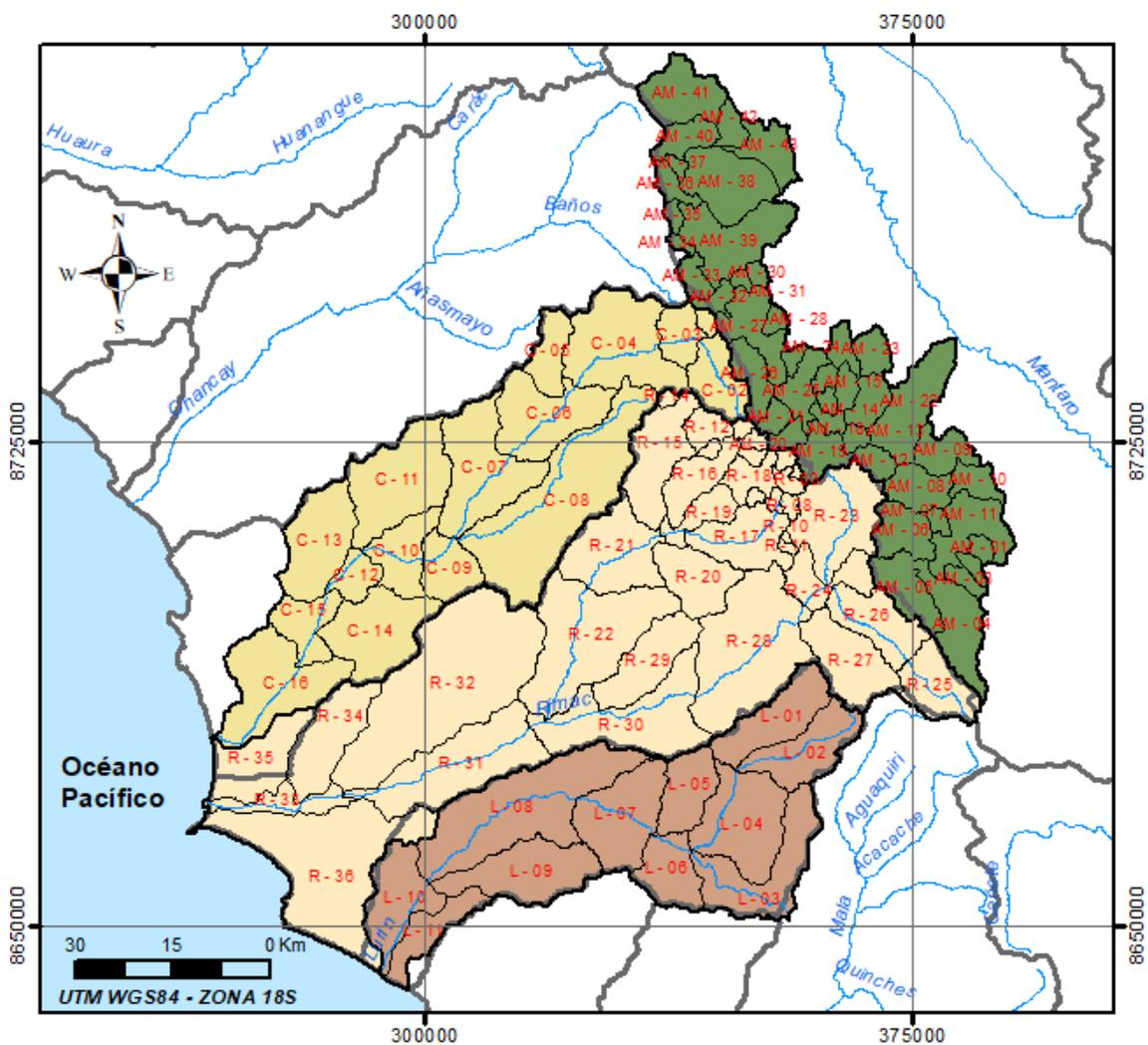


Figura 28: Delimitación de microcuencas en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro

FUENTE: Elaborado con información de MINEDU (2017)

Tabla 12: Microcuencas delimitadas – cuenca Rímac

CÓDIGO	ÁREA (km ²)	CENTROIDE UTM-WGS84			DESCRIPCIÓN
		ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m)	
R - 01	8,77	355534	8722216	4608	Microcuenca de las lagunas Chiche y Pucro.
R - 02	3,35	357291	8720085	4858	Microcuenca de la laguna Misha.
R - 03	13,83	355961	8718754	4761	Salida de la laguna Canchis.
R - 04	6,22	350842	8716401	4888	Microcuenca de la laguna Huallunca.
R - 05	7,53	348852	8726977	4720	Microcuenca de la laguna Quisha.
R - 06	10,76	350835	8725087	4713	Salida de la laguna Carpa.
R - 07	8,53	350541	8722736	4396	Salida de la laguna Huasca.
R - 08	9,05	356282	8715016	4746	Microcuenca de la laguna Huamparcocha.
R - 09	7,75	353835	8716062	4929	Salida de la laguna Huashuacochoa.
R - 10	2,29	355735	8710057	5008	Microcuenca de la laguna Pirhua.
R - 11	4,9	355888	8708533	4768	Salida de la laguna Mancacoto.
R - 12	32,37	343348	8727044	4491	Microcuenca de la laguna Sacsa.
R - 13	7,29	344042	8723731	4663	Microcuenca de la laguna Piticuli.
R - 14	6,33	337387	8731559	4595	Microcuenca de la laguna Quiula.
R - 15	131,76	335893	8722431	4202	Microcuenca del río Acobamba. Puente Carampoma.
R - 16	71,62	341772	8719088	4267	Microcuenca del río Collque. Puente Collque.
R - 17	113,01	349209	8709869	4443	Microcuenca del río Shuncha. Puente Suncha.
R - 18	41,59	350114	8719440	4757	Embalse de la Central Hidroeléctrica Huanza.
R - 19	49,53	345416	8715509	3953	Estación hidrométrica Sheque.
R - 20	98,97	341721	8703731	4273	Microcuenca del río Pillhua. El agua es derivada mediante canal a la toma Sheque.
R - 21	156,94	329085	8707756	3401	Estación hidrométrica Autisha.
R - 22	283,33	325075	8694552	2436	Estación hidrométrica Santa Eulalia.
R - 23	173,15	363657	8713171	4817	Cabecera de la cuenca del río Rímac. Casapalca.
R - 24	72,61	358501	8704347	4444	Estación hidrométrica San Mateo.
R - 25	100,24	378870	8687051	4753	Estación hidrométrica Yuracmayo. Administrada por EDEGEL.
R - 26	107,23	369744	8696887	4321	Estación hidrométrica Río Blanco.
R - 27	130,87	365243	8690832	4521	Microcuenca del río Parac. Puente Tamboraque.
R - 28	318,17	349874	8692571	3080	Toma Matucana, cuyas aguas son utilizadas en la C.H. Moyopampa.
R - 29	116,04	334344	8690891	3116	Microcuenca del río Canchacalla.
R - 30	229,18	330106	8680372	1683	Estación hidrométrica Chosica.
R - 31	238,07	305544	8674907	620	Captación de la PTAP La Atarjea.
R - 32	492,9	303288	8687354	1752	Microcuenca del río Huaycoloro.
R - 33	58,17	278646	8669117	141	Salida al mar.
R - 34	134,06	285315	8679081	397	Quebrada Huaycoloro.
R - 35	122,38	274931	8674777	67	Lima Norte.
R - 36	397,3	285162	8659525	145	Lima Sur.

Tabla 13: Microcuencas delimitadas – cuenca Chillón

CÓDIGO	ÁREA (km ²)	CENTROIDE UTM-WGS84			DESCRIPCIÓN
		ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m)	
C - 01	10,6	343434	8743427	4501	Laguna Chuchón
C - 02	84,27	345195	8734401	4504	Cabecera de cuenca
C - 03	51,58	339295	8741510	4378	Estación hidrométrica Pariacancha
C - 04	214,77	330166	8739811	4034	Estación hidrométrica Obrajillo
C - 05	61,32	319388	8738640	4347	Microcuenca del río Huacho
C - 06	162,65	318540	8729033	2609	Puente peatonal
C - 07	197,2	308747	8720706	2218	Sector de Santa Rosa de Quives
C - 08	395,34	320771	8715569	3661	Microcuenca del río Arahua
C - 09	76,66	303706	8705286	1664	Estación hidrométrica Puente Magdalena
C - 10	89,73	296823	8707612	933	Puente Macas
C - 11	199,6	296166	8718864	1988	Quebrada seca Socos
C - 12	42,94	289461	8704008	979	Puente del sector Trapiche
C - 13	149,09	283724	8709486	908	Quebrada Trapiche
C - 14	169,8	292889	8695368	1310	Río seco - Carabayllo
C - 15	74,99	281862	8696559	453	Bocatoma Agua Azul
C - 16	202,17	276930	8687325	201	Desembocadura

Tabla 14: Microcuencas delimitadas – cuenca Lurín

CÓDIGO	ÁREA (km ²)	CENTROIDE UTM-WGS84			DESCRIPCIÓN
		ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m)	
L - 01	124,63	353166	8681045	4557	Cabecera de cuenca - Quebrada Chalilla
L - 02	125,57	357693	8675780	4256	Cabecera de cuenca - Quebrada Taquia
L - 03	172,14	351092	8653966	3536	Microcuenca del río Canchahuara
L - 04	183,3	349010	8665987	3673	Sector Cruz de Laya
L - 05	89,18	340408	8670791	3140	Quebrada Camacha
L - 06	92,39	337809	8658207	2862	Sector Cochahuayco
L - 07	164,24	330434	8666909	1589	Estación hidrométrica Antapucro
L - 08	327,2	314883	8668051	1172	Estación Hidrométrica Manchay
L - 09	164,04	315779	8658167	1375	Quebrada seca Tinajas
L - 10	127,39	295857	8654142	410	Desembocadura
L - 11	80,33	301073	8649009	228	Quebrada seca Río Seco

Tabla 15: Microcuencas delimitadas – cuenca Alto Mantaro

CÓDIGO	ÁREA (km ²)	CENTROIDE UTM-WGS84			DESCRIPCIÓN
		ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m)	
AM - 01	13,25	385700	8708362	4651	Microcuenca Condorcancha. Marca II.
AM - 02	12,38	384420	8705504	4599	Microcuenca Chumpe. Marca II.
AM - 03	16,57	383143	8703453	4564	Microcuenca Ayamachay. Marca II.
AM - 04	104,92	381997	8696307	4594	Microcuenca laguna Pomacocha. Marca II.
AM - 05	72,2	374172	8702036	4721	Microcuenca Pumatarea. Marca II.
AM - 06	64,49	373662	8710914	4535	Microcuenca Rumichaca. Marca II.
AM - 07	11,63	379093	8712588	4640	Microcuenca Chaquipampa. Marca II.
AM - 08	56,98	375997	8717704	4505	Microcuenca laguna Huascocha. Marca II.
AM - 09	52,43	379756	8723449	4569	Microcuenca Ishguy. Marca II.
AM - 10	34,65	384758	8718681	4229	Río Pucará
AM - 11	93,27	380770	8708117	4170	Río Yauli
AM - 12	25,72	369470	8721759	4708	Microcuenca Sashiragra. Marca V.
AM - 13	14,02	366201	8725458	4702	Microcuenca Richis. Marca V.
AM - 14	39,97	368435	8731184	4541	Microcuenca Chichecocho. Marca V.
AM - 15	20,12	364874	8733246	4620	Microcuenca Callash. Marca V.
AM - 16	13,14	361615	8734770	4737	Microcuenca Sorau. Marca V.
AM - 17	10,25	362087	8731254	4515	Microcuenca de la laguna Tucto. Marca V.
AM - 18	15,12	362275	8728307	4666	Toma Tucto. Proyecto Marca V.
AM - 19	49,83	360988	8723113	4549	Toma Tucto - Sangrar II. Marca V.
AM - 20	19,12	355962	8725699	4626	Toma Tucto - Sangrar I. Marca V.
AM - 21	19,86	353952	8728569	4890	Microcuenca de la laguna Sangrar.
AM - 22	118,65	375301	8730900	4296	Río Pucayacu
AM - 23	34,09	368993	8738718	4369	Río Chonta
AM - 24	24,51	364418	8739257	4331	Río Morada
AM - 25	48,41	358144	8733365	4279	Río Carispaccha
AM - 26	50,79	352243	8733341	4834	Embalse Antacoto. Marca I.
AM - 27	82,2	350363	8743970	4523	Embalse Marcapomacocha. Marca I.
AM - 28	12,57	354000	8743719	4539	Embalse Marcacocha. Marca I.
AM - 29	10,83	356743	8737763	4399	Río Casha
AM - 30	10,86	351347	8750890	4578	Toma Pucpush. Proyecto III.
AM - 31	7,61	348792	8750377	4589	Toma Antahuancan. Marca III.
AM - 32	18,85	345009	8747003	4628	Toma Taptapa. Marca III.
AM - 33	24,78	341590	8750321	4566	Toma Yanque. Marca III.
AM - 34	7,8	339494	8755460	4616	Toma Mariac. Marca III.
AM - 35	10,54	338428	8759937	4664	Toma Aguascocha. Marca III.
AM - 36	22,96	338243	8764619	4658	Toma Ashuan. Marca III.
AM - 37	7,89	338920	8767600	4633	Toma Andacancha. Marca III.
AM - 38	120,74	346673	8765035	4602	Estación hidrométrica Pallanga.
AM - 39	133,3	348174	8755100	4440	Río Casacancha
AM - 40	41,84	340283	8771928	4510	Microcuenca laguna Huascacocha.
AM - 41	97,23	339690	8778743	4580	Microcuenca laguna Huaroncocha.
AM - 42	25,32	347185	8773645	4476	Embalse Huascacocha. Marca IV.
AM - 43	60,04	353131	8769999	4590	Río Huascachaca

c. Distribución de cobertura vegetal por microcuenca

Se obtuvo 10 tipos de cobertura vegetal para el área de estudio, cuya distribución espacial se presenta en la Figura 29.

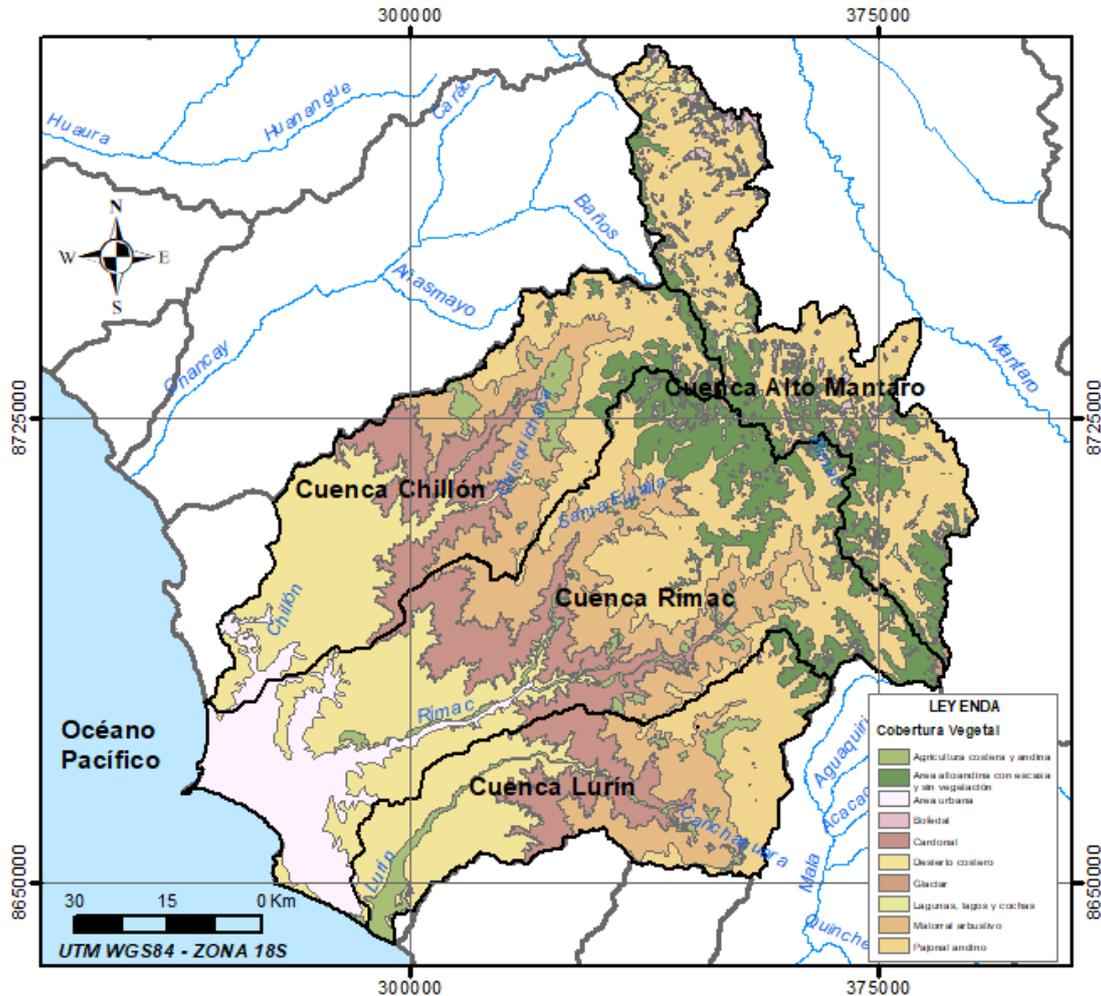


Figura 29: Cobertura vegetal en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro

FUENTE: Elaborado con información de ANA (2019) y MINAM (2015).

En la Tabla 16 se presenta la distribución de la cobertura como porcentaje de área para cada cuenca. Los resultados de distribución por microcuenca se presentan en las Tablas 34 a 37, del ANEXO 2.

Asimismo, se presenta un breve comentario sobre las características de la cobertura vegetal presente en la zona de estudio:

Tabla 16: Distribución de la cobertura vegetal por cuenca

COBERTURA VEGETAL POR CUENCA	RÍMAC		CHILLÓN		LURÍN		ALTO MANTARO	
	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)						
Agricultura costera y andina	97,9	2,6	82,0	3,8	122,5	7,4	-	-
Área altoandina con escasa y sin vegetación	519,6	13,8	117,5	5,4	39,8	2,4	388,7	22,4
Área urbana	549,6	14,6	62,3	2,9	2,7	0,2	2,0	0,1
Bofedal	12,3	0,3	6,0	0,3	0,3	0,0	118,9	6,9
Cardonal	409,3	10,9	374,0	17,1	285,3	17,3	-	-
Desierto costero	646,8	17,2	701,0	32,1	480,7	29,1	-	-
Glaciar	13,6	0,4	0,7	0,0	0,3	0,0	14,7	0,8
Lagunas, lagos y cochas	13,6	0,4	3,6	0,2	0,6	0,0	65,2	3,8
Matorral arbustivo	639,7	17,0	428,5	19,6	324,8	19,7	-	-
Pajonal andino	862,3	22,9	407,0	18,6	393,5	23,8	1142,0	66,0
Total	3764,7	100,0	2182,7	100,0	1650,4	100,0	1731,5	100,0

FUENTE: Elaborado con información de MINAM (2015)

- **Agricultura costera y andina**

Esta cobertura corresponde a todas las áreas donde se realiza actividad agropecuaria, actualmente activas y en descanso, ubicadas en todos los valles que atraviesan al extenso desierto costero y los que ascienden a la vertiente occidental andina hasta el límite con el pajonal altoandino. Asimismo, los fondos y laderas de los valles interandinos hasta el límite del pajonal altoandino.

- **Área altoandina con escasa y sin vegetación; área urbana; desierto costero; glaciar; y, lagunas, lagos y cochas**

Se encuentran clasificado dentro del grupo de “otras coberturas”.

- **Bofedal**

Llamado también “ocoñal” o “turbera” (del quechua “*oqo*” que significa mojado), constituye un ecosistema hidromórfico distribuido en la región altoandina, a partir de 3800 m.s.n.m. Este humedal altoandino se encuentra ubicado en el fondo del valle fluvio-glacial, conos volcánicos, planicies lacustres, piedemonte y terrazas fluviales. Se alimentan del agua

proveniente del deshielo de los glaciares, del afloramiento de agua subterránea (manantial) y de la precipitación pluvial.

- **Cardonal**

Este tipo de cobertura vegetal se extiende en una larga y angosta franja que recorre la porción inferior de la vertiente occidental andina, en el norte del Perú desde los 1800 hasta 2700 m.s.n.m. y al sur del país se encuentra desde 1500 hasta 2500 m.s.n.m., limitado en su distribución en su parte inferior con el desierto costero y en su parte superior con el matorral arbustivo. Esta unidad de cobertura vegetal es influenciada por las condiciones de aridez.

- **Matorral arbustivo**

Este tipo de cobertura vegetal se encuentra distribuida desde los 1500 hasta 3800 m.s.n.m. (en la zona sur y centro del país), y desde 1000 hasta 3000 m.s.n.m. (en la zona norte del país). Constituye un recurso importante para la población rural, tanto como provisión de leña como el uso como plantas medicinales. Asimismo, se ubica en tierras con aptitud forestal y de protección, presentando las primeras un buen potencial para el desarrollo de proyectos de reforestación con fines comerciales y de conservación y protección de cuencas.

- **Pajonal andino**

Este tipo de cobertura vegetal está conformado, mayormente, por herbazales, ubicado entre 3800 y 4800 m.s.n.m. De manera general, se afirma que el pajonal andino, constituye una fuente de forraje importante para la actividad ganadera, principalmente a base de camélidos sudamericanos y ganado ovino. Sin embargo, muchas áreas se encuentran en proceso de degradación debido al sobrepastoreo y la quema periódica; asimismo, la ampliación de la frontera agrícola está restando áreas de pastizales.

d. Resultados del tratamiento de la información climática

- **Precipitación**

En la Figura 30 se presentan los cinco grupos con comportamiento homogéneo de acuerdo al análisis *cluster*, los cuales se describen a continuación:

- *Cluster 1*: Chosica, Santa Eulalia, Campo de Marte, Von Humbolt, Antioquía, Ñaña y Huarangal.

- Cluster 2: Autisha, Canchacalla, Matucana, Arahúay, Escamarca, Langa, Santiago de Tuna y Chalilla.
- Cluster 3: Carampoma, Sheque, Mina Colqui, Lachaqui, Huamantanga, Huaros, Canta y Obrajillo.
- Cluster 4: Milloc, Carhuacayán, Yantac y Marcapomacocha.
- Cluster 5: Río Blanco, Tingo, San José de Parac, Casapalca, Pariacancha y Yauli.

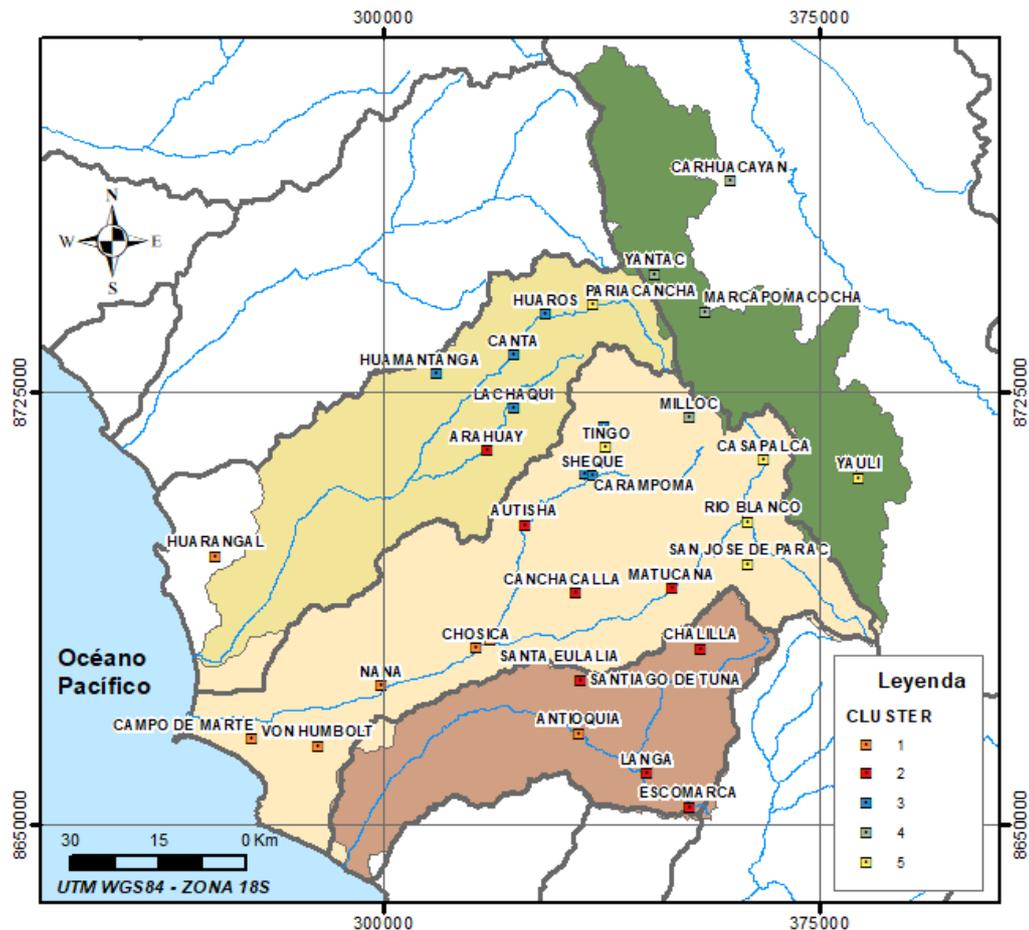


Figura 30: Análisis cluster de las estaciones pluviométricas

FUENTE: Elaborado con información de ANA (2019)

El vector regional identificó cuales eran los periodos con saltos e inconsistencias, a los cuales se les realizó las pruebas estadísticas de *Fisher* y *Student*.

La información corregida fue completada con el programa HEC 04, obteniéndose las correlaciones precipitación – altitud para la creación del mapa de isoyetas de precipitación.

Se ha obtenido el mapa de isoyetas de precipitación total anual en las cuencas a partir de los valores de precipitación total multianual en las estaciones analizadas. Ver Figura 31.

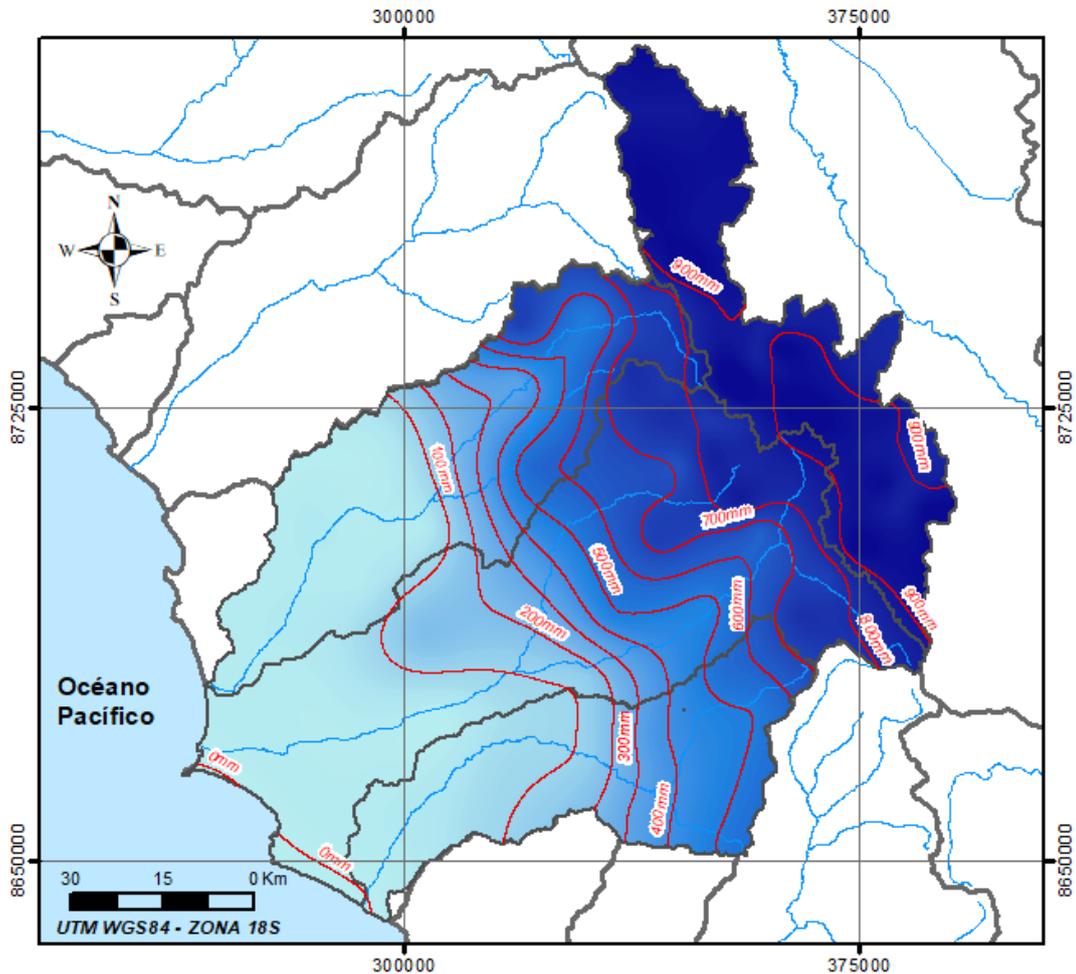


Figura 31: Isoyetas de precipitación total anual en las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro

FUENTE: Elaborado con información de ANA (2019) y SENAMHI (2017)

La precipitación total anual en la cuenca Rímac es equivalente a 392 mm; en la cuenca del río Chillón, a 274 mm, mientras que en la cuenca del río Lurín, a 258 mm. La zona del Alto Mantaro es donde se presentan las mayores precipitaciones observando un promedio de 910 mm/año. Se puede notar que las cuencas Lurín y Chillón los valores más altos de precipitación están entre 650 mm/año y 750 mm/año, respectivamente.

- **Temperatura**

En la Tabla 17 se presenta el resumen de la información tratada, con ello se realizó las correlaciones para cada mes. La correlación a nivel anual se presenta en la Figura 32, donde

se observa la relación inversamente proporcional entre temperatura media y altitud, el coeficiente R² resultó en 0,94, indicando una excelente correlación.

Tabla 17: Temperatura media mensual multianual en estaciones (°C)

ESTACIÓN	ALTITUD (m.s.n.m.)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Campo de Marte	13	22,5	23,4	22,9	21,0	18,3	16,6	16,2	15,7	15,8	16,8	18,3	20,2	19,0
Huarangal	41	23,2	24,5	24,4	22,8	19,7	16,8	15,8	15,7	16,3	17,7	19,0	21,1	19,7
Ñaña	566	21,4	22,5	22,4	21,1	18,8	16,9	16,2	16,3	16,9	17,7	18,4	19,8	19,0
Matucana	2418	15,1	15,0	15,1	15,4	15,4	15,1	14,9	15,5	15,9	15,8	15,5	15,3	15,3
San Mateo de Otao	3513	9,8	9,5	9,5	10,5	10,3	10,5	10,1	9,9	10,3	10,6	11,0	11,5	10,3
Huaros	3585	9,3	9,1	9,4	10,0	9,9	10,3	10,4	10,0	10,3	10,3	9,9	9,5	9,9
Casapalca	4259	5,7	5,8	5,9	6,2	5,5	5,6	5,1	5,4	5,7	5,8	6,0	5,8	5,7
Marcapomacocha	4480	4,8	4,8	4,8	4,7	4,5	3,7	3,2	3,7	4,1	4,7	5,1	4,9	4,4

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)

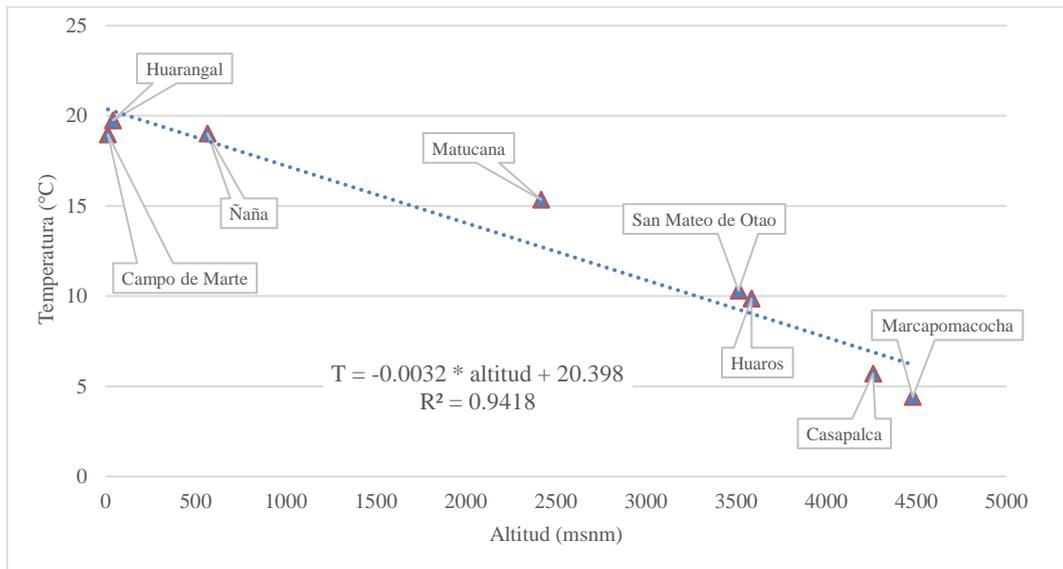


Figura 32: Correlación entre la temperatura media anual vs. altitud

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)

• **Humedad relativa**

En la Tabla 18 se presenta el resumen de la información tratada, con ello se realizó las correlaciones para cada mes. La correlación a nivel anual se presenta en la Figura 33. El coeficiente R² resultó en un valor de 0,5, lo que indica una buena correlación.

Tabla 18: Humedad relativa media mensual multianual en estaciones (%)

ESTACIÓN	ALTITUD (m.s.n.m.)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Campo de Marte	13	82,0	79,5	79,7	82,2	85,9	87,9	87,8	88,4	87,4	85,7	84,3	83,7	84,5
Huarangal	41	74,2	72,4	71,8	73,8	79,1	85,2	86,2	86,4	84,6	81,0	79,6	77,6	89,3
Ñaña	566	84,4	83,0	82,7	84,0	86,8	88,2	88,5	88,7	87,8	87,3	87,0	85,4	86,2
Matucana	2418	81,5	82,9	82,8	81,0	78,3	77,6	78,3	78,0	77,5	78,9	78,9	80,7	79,7
Marcapomacocha	4480	85,0	85,6	86,0	84,9	80,7	80,7	79,5	79,1	80,2	80,5	80,5	83,3	82,2

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)

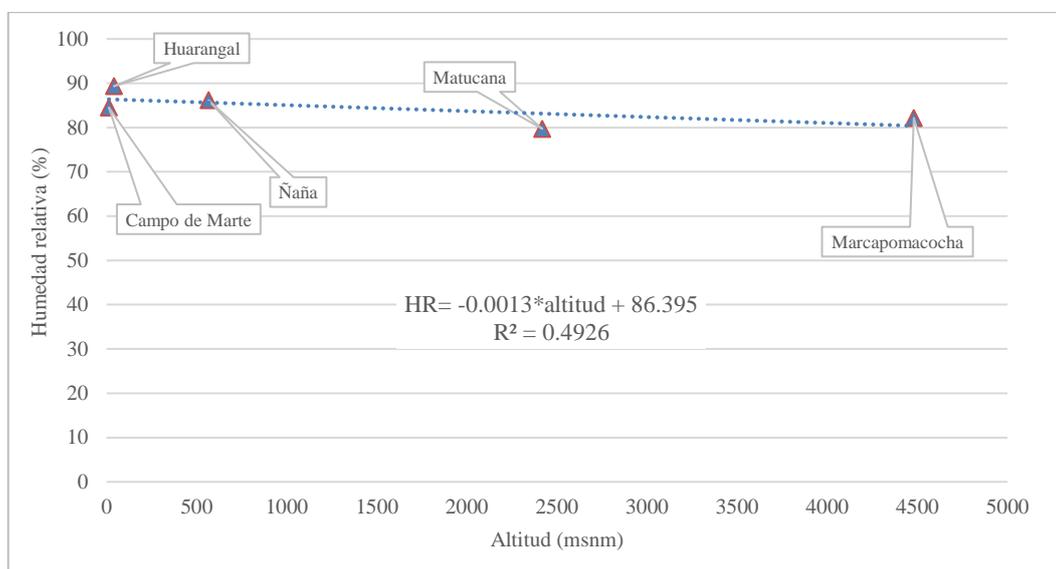


Figura 33: Correlación entre la humedad relativa media anual vs. altitud

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)

- **Velocidad del viento**

En la Tabla 19 se presenta el resumen de la información tratada, con ello se realizó las correlaciones para cada mes. La correlación a nivel anual se presenta en la Figura 34. El coeficiente R^2 resultó en un valor de 0,6, lo que indica una buena correlación.

Tabla 19: Velocidad de viento media mensual multianual en estaciones (m/s)

ESTACIÓN	ALTITUD (m.s.n.m.)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Campo de Marte	13	1,3	1,3	1,2	1,1	0,9	0,9	0,9	1,0	1,3	1,2	1,3	1,3	1,1
Huarangal	41	2,5	2,7	2,8	2,6	2,2	1,8	1,8	2,1	2,4	2,2	2,6	2,6	2,3
Ñaña	566	3,0	3,0	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,1	3,1	3,0	3,0
Matucana	2418	2,2	2,1	2,1	2,3	2,5	2,7	2,6	2,7	2,7	2,6	2,6	2,3	2,4
Marcapomacocha	4480	3,7	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4	3,8	4,1	3,9	4,0	3,8	3,8	3,8

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)

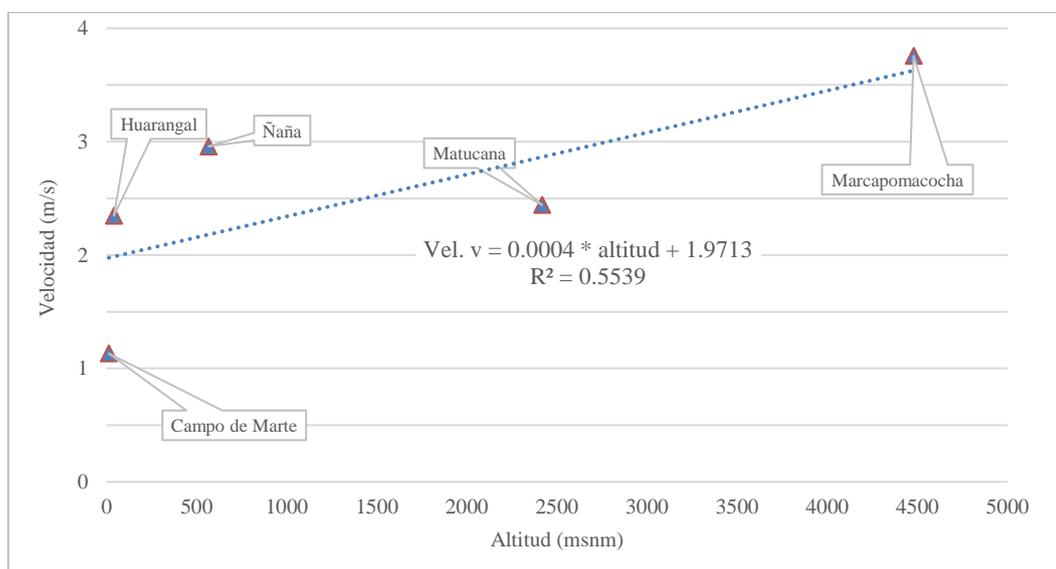


Figura 34: Correlación entre la velocidad de viento media anual vs. altitud

FUENTE: Elaborado con información de SENAMHI (2017)

e. Series climáticas por microcuenca

Como resultado se obtuvo la serie climática para cada variable y para cada una de las 106 microcuencas, los cuales fueron ingresados al modelo hidrológico elaborado en WEAP.

En las Tablas 38 y 39, del ANEXO 3, se presenta las series de precipitación y temperatura a nivel mensual.

f. Modelo hidrológico en WEAP

El esquema del modelo hidrológico elaborado consta de los siguientes elementos:

- Ríos (*River*): en la cuenca Chillón lo constituyen los ríos: Chillón, Huacho, Lachaqui y Socos; en la cuenca Rímac, los ríos: Rímac, Blanco, Parac, Canchacalla, Santa Eulalia, Misha, Huallunca, Huasca, Yanacocha, Suncha, Pili, Collque, Quiula, Acobamba, Pillihua, Huaycoloro y Milloc; en la cuenca Lurín, los ríos: Lurín, Taquia, Canchahuara, Tupicocha y la quebrada Tinajas; y, en la cuenca del Alto Mantaro los ríos: Condorcancha, Chumpe, Ayamachay, Yauli, Rumichaca, Chaquipampa, Pucará, Ishguey, Yanacancha, Richis, Chichecocha, Callash, Chacra, Tucto, Carhua, Corpacancha, Huarmi, Shiusha, Curihuay, Sapicancha, Marcacocha, Pucpush, Chuquicocha, Taptapa, Quiulacocha, Mariac, Carhuacayán, Ashuan, Andacancha y Huascacocha.
- Microcuencas (*Catchment*): representan el área de análisis, es donde ocurre el proceso precipitación-escorrentía. En el modelo se han representado 106 *catchments* que corresponden a las microcuencas delimitadas.
- Reservorios (*Reservoir*): en el esquema del sistema Chillón se ha incluido el embalse Laguna Chuchón; en el esquema del sistema Rímac, el embalse Yuracmayo ubicado en la subcuenca del río Blanco; y, los embalses Chiche, Pucro, Canchis, Misha, Huallunca, Quisha, Carpa, Huasca, Huamparcocha, Huashuhuacocha, Pirhua, Manca, Piticuli, Quiula, Sacsá y Huanza en la subcuenca del río Santa Eulalia; y, en la cuenca del Alto Mantaro los embalses: Yauli, Tucto, Sangrar, Antacoto, Marcapomacocha, Marcacocha y Huascacocha.
- Acuíferos (*Groundwater*): se incluyó un elemento que representa el acuífero Chillón – Rímac.
- Nodos de Demanda (*Demand Site*): representan la toma de agua para uso poblacional. En el presente modelo se ha incluido la demanda poblacional de la ciudad de Lima.
- Los puntos de control (*Streamflow Gage*): representan los puntos de control para la calibración del modelo, disponen de información hidrométrica para compararlo con los caudales simulados. En el presente modelo se incluyó las estaciones Pariacancha, Obrajillo y Puente Magdalena, en la cuenca Chillón; Manchay, en la cuenca Lurín; y, Chosica, San Mateo, Río Blanco, Yuracmayo, Sheque y Milloc, en la cuenca Rímac.

- Centrales hidroeléctricas (*Run of river hydro*): lo constituyen las centrales hidroeléctricas Callahuanca, Huampaní, Huanchor, Huanza, Huinco, Matucana y Moyopampa, ubicadas en el ámbito de la cuenca del río Rímac.
- Canales (*Diversions*): lo conforman los canales de riego, derivaciones y trasvases como el caso del túnel trasandino y los canales del proyecto Marcapomacocha.

El esquema del modelo hidrológico elaborado en WEAP se presenta en la Figura 35.

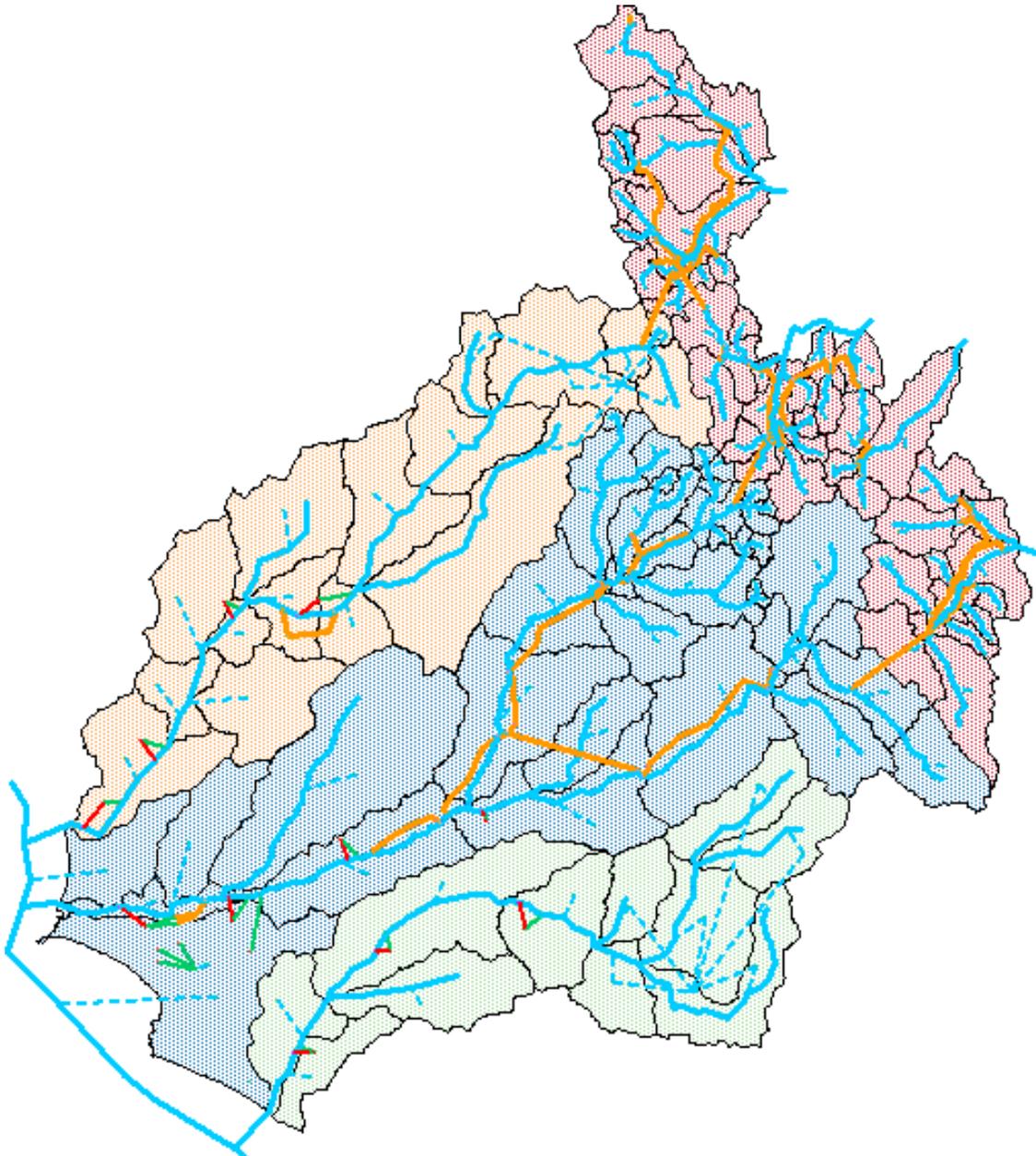


Figura 35: Esquema del modelo hidrológico de las cuencas Rímac, Chillón, Lurín y Alto Mantaro elaborado en el programa WEAP

Los parámetros de calibración varían para cada tipo de cobertura, por ejemplo, el parámetro Kc de una cobertura de pajonal es diferente al de un área altoandina con escasa vegetación. En la Tabla 20, se presenta el resumen y a modo de rangos, los parámetros establecidos para el modelo hidrológico.

Tabla 20: Parámetros de calibración del modelo

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Kc (coeficiente del cultivo)	-	0,4 – 1,0
Capacidad de agua en la zona de raíces	mm	50 - 800
Conductividad en zona profunda	mm/mes	300
Dirección del flujo	% horizontal	40 - 70
Z1 inicial	%	30
Z2 inicial	%	30
Capacidad de agua en zona profunda	mm	1200 - 1500
Factor de resistencia a la escorrentía	-	0,5 – 2,5
Conductividad en la zona radicular	mm/mes	80 – 140

En la Tabla 21 se muestra los estadísticos obtenidos para el periodo de calibración y en la Tabla 22, para el periodo de validación. Se obtuvieron índices de Nash en su mayoría superiores a 0,65 lo que indica que la calibración y validación fue buena.

Tabla 21: Estadísticos obtenidos para el periodo de calibración

CUENCA	ESTACIÓN HIDROMÉTRICA	PERIODO DE CALIBRACIÓN	SERIE COMPLETA			AÑO MEDIO		
			EMC	NSE	PBIAS	EMC	NSE	PBIAS
	Pariacancha	1969 – 1972	0,6	0,8	0,0	0,2	0,9	0,0
Chillón	Obrajillo	1965 – 1990	2,4	0,8	-0,1	0,5	0,9	-0,1
	Puente Magdalena	1965 – 1990	9,7	0,7	-0,1	2,2	1,0	-0,1
Lurín	Manchay	1965 – 1990	7,0	0,7	-0,1	0,5	1,0	-0,1
	Yuracmayo	1965 - 1980	0,7	0,5	0,4	0,2	0,6	0,4
	Río Blanco	1965 – 1980	2,3	0,8	-0,1	0,8	0,9	-0,1
Rímac	San Mateo	1969 – 1979	3,9	0,9	-0,0	0,3	1,0	0,0
	Milloc	2000 – 2008	7,0	-	0,2	2,9	-	0,2
	Sheque	1965 – 1990	9,6	0,6	0,0	1,8	0,8	0,0
	Chosica	1965 – 1990	25,8	0,7	0,1	10,1	1,0	0,1

Tabla 22: Estadísticos obtenidos para el periodo de validación

CUENCA	ESTACIÓN HIDROMÉTRICA	PERIODO DE VALIDACIÓN	SERIE COMPLETA			AÑO MEDIO		
			EMC	NSE	PBIAS	EMC	NSE	PBIAS
	Pariacancha	1973 - 1977	0,8	0,7	-0,2	0,4	0,8	-0,2
Chillón	Obrajillo	1991 – 2016	5,1	0,7	-0,2	1,8	0,9	-0,2
	Puente Magdalena	1991 – 2016	12,3	0,8	-0,1	1,2	1,0	-0,1
Lurín	Manchay	1991 – 2016	7,3	0,7	-0,1	0,8	1,0	-0,1
	Yuracmayo	1981 – 1996	0,5	0,7	0,2	0,1	0,9	0,2
	Río Blanco	1981 – 1996	1,9	0,7	0,1	0,2	1,0	0,1
Rímac	San Mateo	1980 – 1989	4,7	0,9	-0,0	1,1	1,0	0,0
	Milloc	2009 – 2016	6,6	-	0,1	1,7	-	0,1
	Sheque	1991 – 2016	11,4	0,6	-0,0	1,8	0,8	-0,0
	Chosica	1991 – 2016	43,3	0,8	0,0	3,1	1,0	0,0

La calibración y validación en la estación Milloc, no fue evaluada con el índice de Nash, pues esta mide caudales altamente intervenidos que corresponden a las reglas de operación de los embalses del Alto Mantaro, siendo complicado reproducir su comportamiento. Para este caso se evaluó el BIAS, que resulto en valores cercanos a 0, lo que permite indicar que no se ha sobrestimado ni subestimado los caudales.

En las Figuras 66 a 75, del ANEXO 4, se presentan las comparaciones entre los caudales observados y simulados de las estaciones analizadas.

g. Caudales naturales por microcuenca

Estos caudales obtenidos a nivel de microcuenca, permitieron conocer el flujo que transcurre en cualquier sector del río bajo condiciones naturales, es decir, sin existencia de demandas, ni obras de almacenamiento y/o regulación.

En las Tablas 23 al 26 se presenta, a manera de resumen, los caudales medios mensuales multianuales para cada microcuenca.

Tabla 26: Caudal medio mensual por microcuenca (m³/s) – cuenca Alto Mantaro. Periodo 1965 – 2018

MICRO CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
AM - 01	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2
AM - 02	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
AM - 03	0,5	0,6	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3
AM - 04	2,8	3,6	3,5	2,6	1,3	1,0	1,0	1,0	1,1	1,5	1,5	2,3	1,9
AM - 05	1,8	2,4	2,5	2,0	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	1,0	1,6	1,3
AM - 06	1,6	2,1	2,0	1,5	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,9	0,8	1,3	1,1
AM - 07	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
AM - 08	1,5	1,9	1,8	1,2	0,7	0,6	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,2	1,0
AM - 09	1,3	1,6	1,6	1,1	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,7	0,7	1,0	0,9
AM - 10	0,6	0,8	0,8	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4
AM - 11	1,8	2,4	2,4	1,6	0,9	0,7	0,6	0,6	0,8	1,0	1,1	1,5	1,3
AM - 12	0,6	0,8	0,9	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5
AM - 13	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
AM - 14	0,8	1,2	1,1	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,6
AM - 15	0,5	0,6	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3
AM - 16	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
AM - 17	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
AM - 18	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
AM - 19	1,3	1,7	1,6	1,0	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,7	0,7	1,0	0,9
AM - 20	0,6	0,8	0,7	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4
AM - 21	0,6	0,8	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
AM - 22	2,4	3,4	3,1	1,9	1,2	0,9	0,8	0,8	1,0	1,2	1,3	1,9	1,7
AM - 23	0,7	1,0	0,9	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
AM - 24	0,5	0,7	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3
AM - 25	1,0	1,3	1,3	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	0,7
AM - 26	1,5	1,9	1,8	1,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	1,2	1,0
AM - 27	1,8	2,5	2,5	1,6	1,0	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	1,0	1,4	1,3
AM - 28	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2
AM - 29	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
AM - 30	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
AM - 31	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
AM - 32	0,5	0,6	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3
AM - 33	0,6	0,8	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4
AM - 34	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
AM - 35	0,3	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
AM - 36	0,5	0,8	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,4
AM - 37	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
AM - 38	2,5	3,5	3,7	2,4	1,4	1,0	0,8	0,8	1,0	1,2	1,4	2,0	1,8
AM - 39	2,8	3,9	4,0	2,6	1,5	1,1	0,9	0,9	1,1	1,4	1,6	2,2	2,0
AM - 40	1,0	1,3	1,3	0,9	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,7
AM - 41	2,0	2,8	3,0	1,9	1,1	0,8	0,7	0,6	0,8	1,0	1,1	1,6	1,5
AM - 42	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3
AM - 43	1,2	1,6	1,8	1,2	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9

4.1.2 Disponibilidad hídrica en las cuencas

a. Disponibilidad hídrica en régimen natural

A continuación, se presenta el análisis de disponibilidad hídrica en régimen natural, los resultados corresponden al periodo 1965 – 2018. En las Tablas 40 al 42, del ANEXO 5 se presenta la información a nivel mensual.

- **Cuenca Chillón**

El caudal medio anual obtenido fue 8,1 m³/s (253,0 hm³/año); al 75 por ciento de persistencia, 5,4 m³/s (169,7 hm³/año); y, finalmente, a una persistencia del 95 por ciento, 2,8 m³/s (88,6 hm³/año). Este último valor representa el volumen disponible para abastecimiento poblacional bajo un régimen natural. Los resultados se presentan en las Figuras 36 y 37.

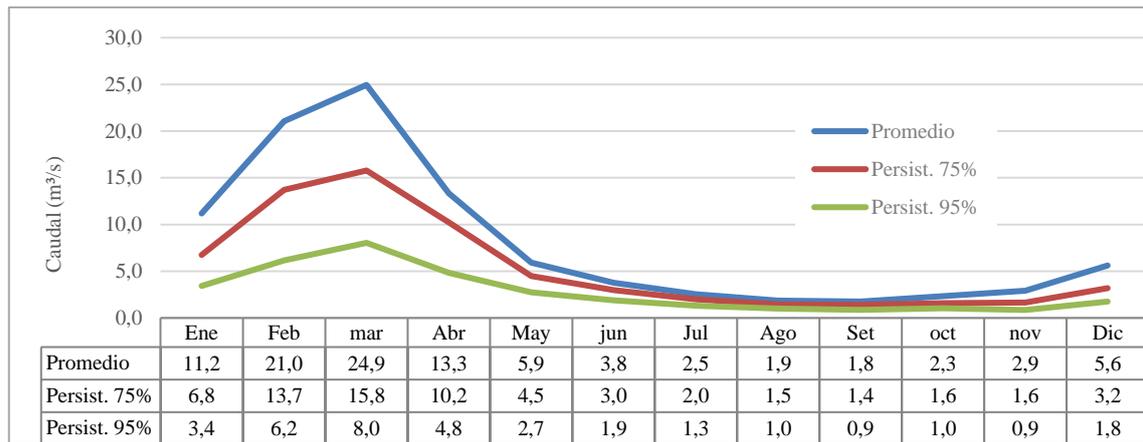


Figura 36: Caudal natural medio mensual - cuenca Chillón. Periodo 1965 – 2018

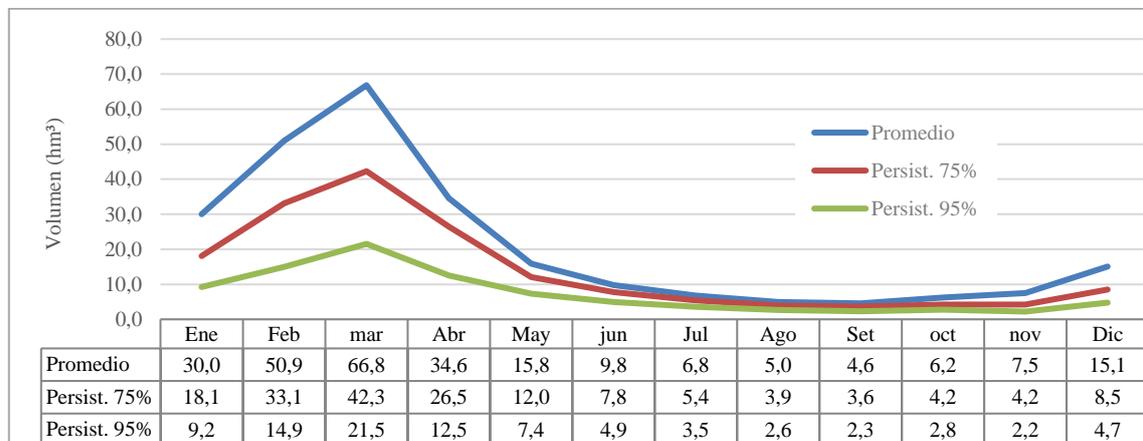


Figura 37: Disponibilidad hídrica natural - cuenca Chillón. Periodo 1965 – 2018

- **Cuenca Rímac**

El caudal medio anual obtenido fue 27,8 m³/s (871,4 hm³/año); al 75 por ciento de persistencia, 22,6 m³/s (707,8 hm³/año); y, finalmente, a una persistencia del 95 por ciento, 15,4 m³/s (484,3 hm³/año). Este último valor representa el volumen disponible para abastecimiento poblacional bajo un régimen natural, sin embargo, no podría satisfacer las necesidades actuales de la población de Lima. Los resultados se presentan las Figuras 38 y 39.

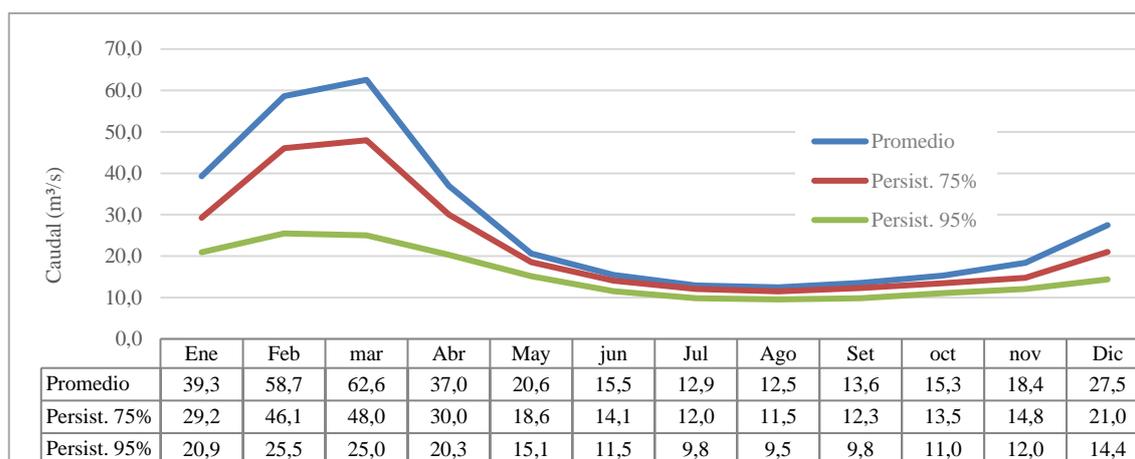


Figura 38: Caudal natural medio mensual - cuenca Rímac. Periodo 1965 – 2018

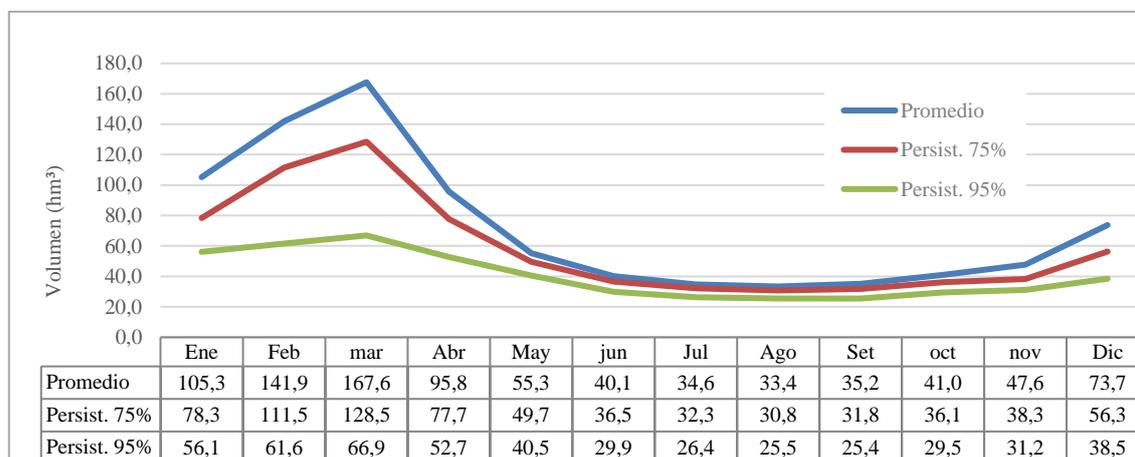


Figura 39: Disponibilidad hídrica natural - cuenca Rímac. Periodo 1965 – 2018

- **Cuenca Lurín**

El caudal medio anual obtenido fue 4,8 m³/s (150,0 hm³/año); al 75 por ciento de persistencia, 2,9 m³/s (90,8 hm³/año); y, finalmente, a una persistencia del 95 por ciento, 1,5 m³/s (46,1 hm³/año). Este último valor representa el volumen disponible para

abastecimiento poblacional bajo un régimen natural. Los resultados se presentan en las Figuras 40 y 41.

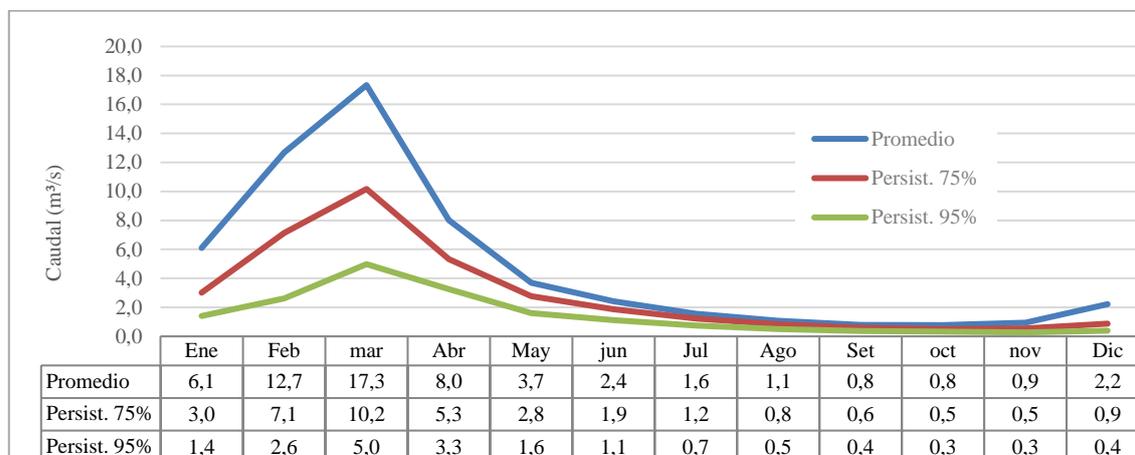


Figura 40: Caudal natural medio mensual - cuenca Lurín. Periodo 1965 – 2018

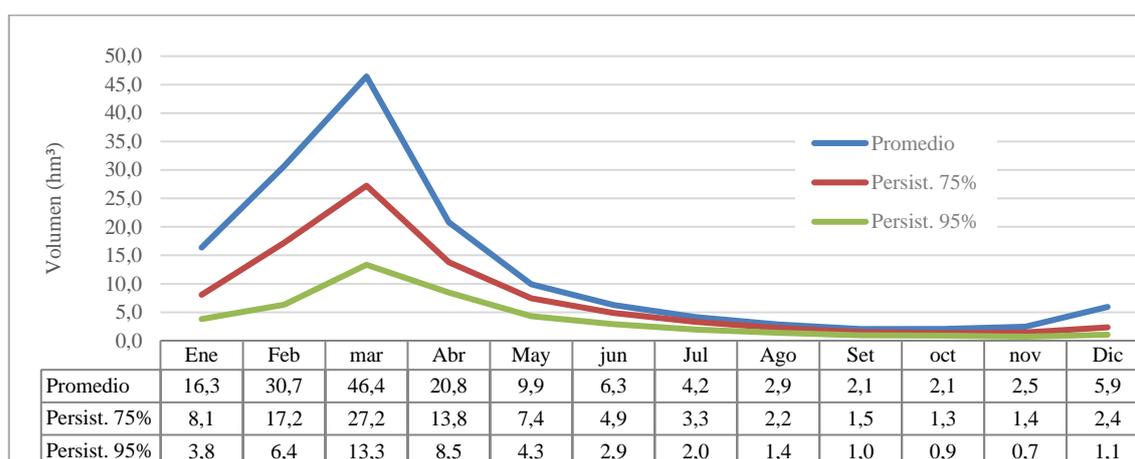


Figura 41: Disponibilidad hídrica natural - cuenca Lurín. Periodo 1965 – 2018

b. Disponibilidad hídrica en régimen intervenido

A continuación, se presenta el análisis de disponibilidad hídrica en régimen intervenido, los resultados corresponden al periodo de tiempo 1965 – 2018. En las Tablas 43 al 45, del ANEXO 6 se presenta la información a nivel mensual.

• Cuenca Chillón

El caudal medio anual para el periodo considerado fue 7,5 m³/s (233,8 hm³/año); al 75 por ciento de persistencia, 5,4 m³/s (170,2 hm³/año); al 95 por ciento de persistencia, 3,8 m³/s (119,5 hm³/año). Los resultados se presentan en las Figuras 42 y 43.

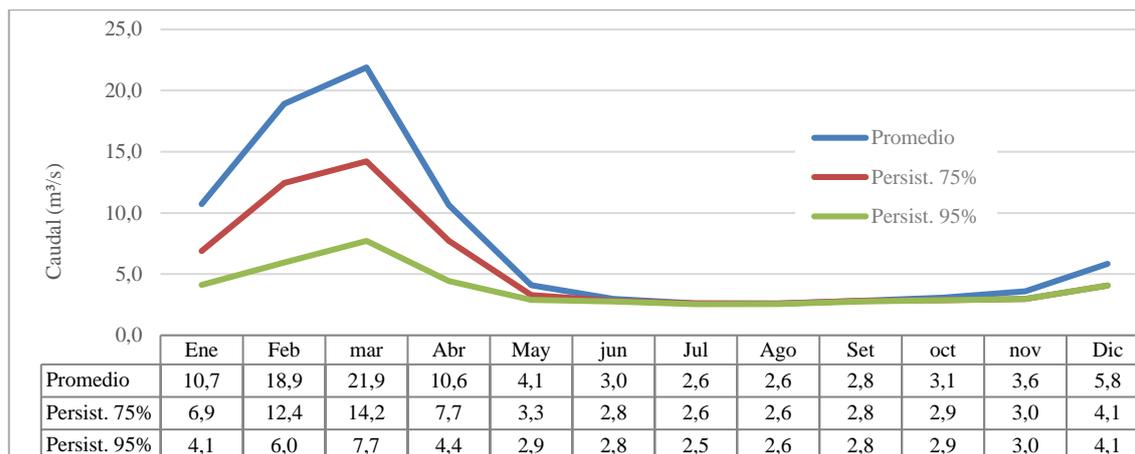


Figura 42: Caudal medio mensual - cuenca Chillón. Periodo 1965 – 2018

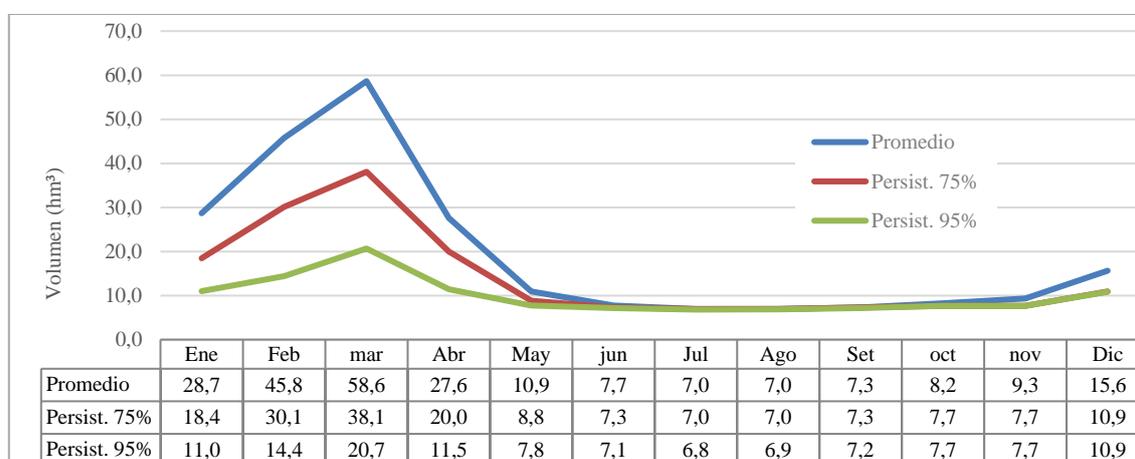


Figura 43: Disponibilidad hídrica en cuenca intervenida - cuenca Chillón. Periodo 1965 – 2018

A nivel promedio, se aprecia una disminución de 19,3 hm³/año del volumen disponible en cuenca intervenida, con respecto al volumen natural. Esto representa una variación de -8 por ciento, la cual es atribuida a los usos agrícolas y poblacionales que existen en la parte alta y media de la cuenca.

- **Cuenca Rímac**

El caudal medio anual para el periodo considerado fue 33,8 m³/s (1060,3 hm³/año); al 75 por ciento de persistencia, 28,5 m³/s (895,3 hm³/año); al 95 por ciento de persistencia, 20,6 m³/s (646,6 hm³/año). Los resultados se presentan en las Figuras 44 y 45.

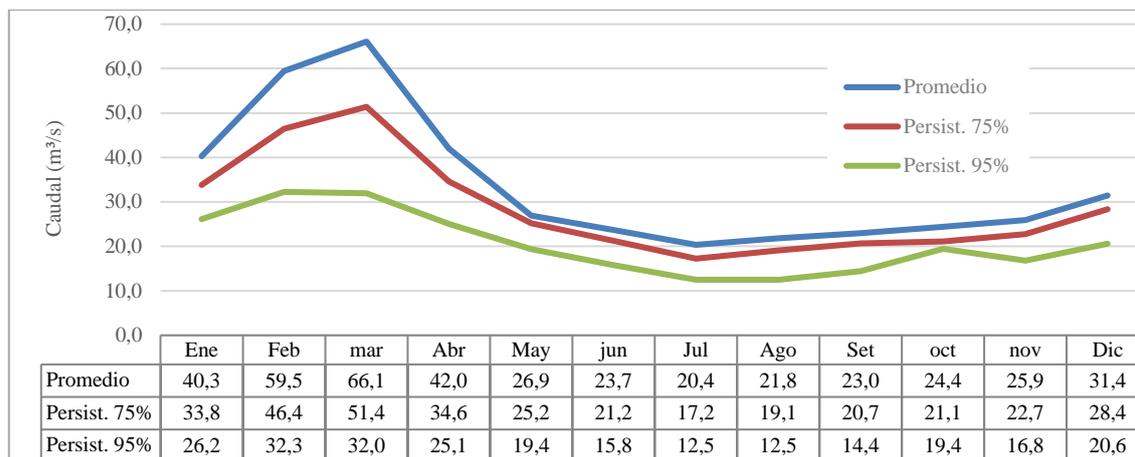


Figura 44: Caudal medio mensual - cuenca Rímac. Periodo 1965 – 2018

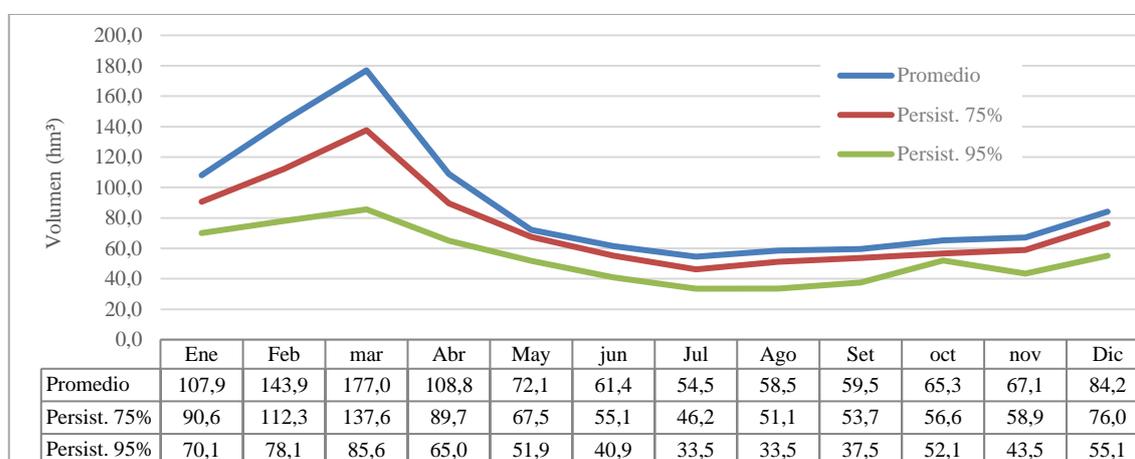


Figura 45: Disponibilidad hídrica en cuenca intervenida - cuenca Rímac. Periodo 1965 - 2018

A nivel promedio, se aprecia un incremento en 188,9 hm³/año del volumen disponible en cuenca intervenida, con respecto al volumen natural. Esto representa una variación de +22 por ciento. Esta mayor oferta es debido a las obras de afianzamiento hídrico en la parte alta de la cuenca y el aporte de la zona de influencia del Alto Mantaro (proyectos Marca) a través del trasvase por el Túnel Trasandino, incluyendo aún las demandas provenientes de los usuarios agrícolas y poblacionales.

- **Cuenca Lurín**

El caudal medio anual para el periodo considerado fue 3,8 m³/s (117.8 hm³/año); al 75 por ciento de persistencia, 2,2 m³/s (69,6 hm³/año); al 95 por ciento de persistencia, 1,2 m³/s (38,3 hm³/año). Los resultados se presentan las Figuras 46 y 47.

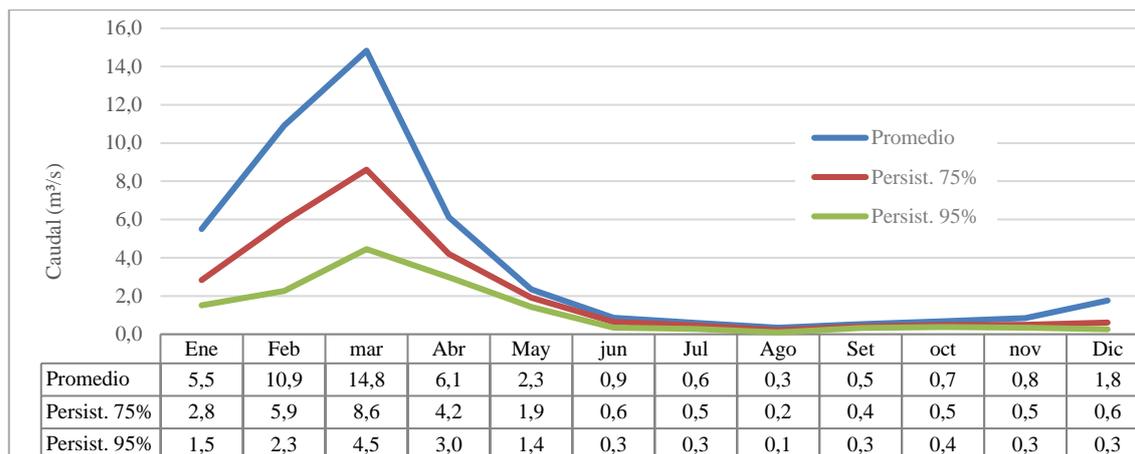


Figura 46: Caudal medio mensual - cuenca Lurín. Periodo 1965 – 2018

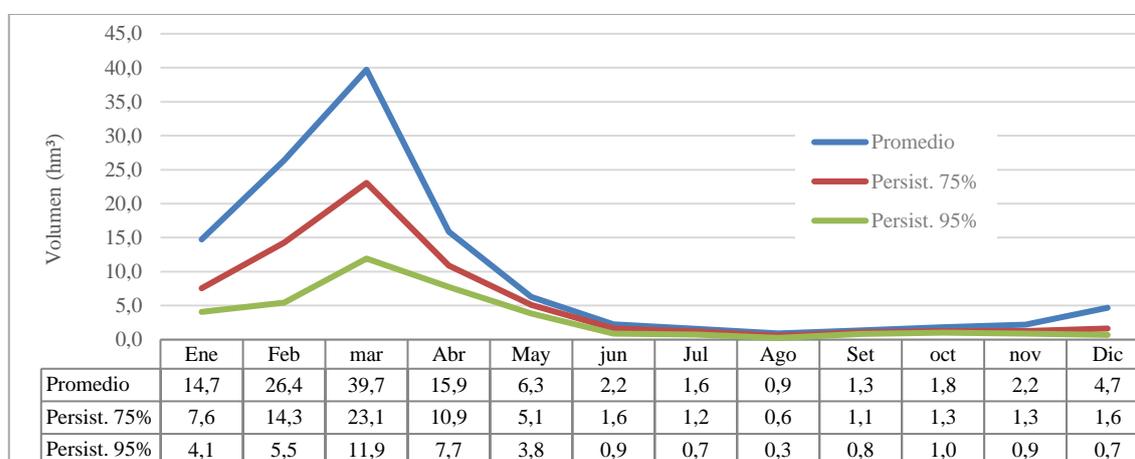


Figura 47: Disponibilidad hídrica en cuenca intervenida - cuenca Lurín. Periodo 1965 - 2018

A nivel promedio, se aprecia una disminución en 32,2 hm³/año del volumen disponible en cuenca intervenida, con respecto al volumen natural. Esto representa una variación de -21 por ciento, la cual se atribuye a los usos agrícolas y poblacionales que existen en la parte alta y media de la cuenca.

4.2 NIVEL DE REGULACIÓN DE LAS CUENCAS APORTANTES

Los resultados indican que el volumen regulado total anual es de 250,6 hm³, la regulación se da, principalmente, durante el periodo de estiaje (mayo – noviembre), donde se presenta un aporte medio de 11,9 m³/s, que equivale a un volumen total de 220,4 hm³, representando el 88 por ciento del volumen total regulado; por otro lado, durante el periodo de avenida (diciembre – abril) se presenta un aporte medio de 2,3 m³/s, que equivale a un volumen total de 30,3 hm³, este volumen representa el 12 por ciento restante del volumen regulado total.

Los resultados numéricos se presentan en las Tablas 27 y 28; y, los resultados gráficos en las Figuras 48 y 49.

Tabla 27: Análisis del caudal regulado en las cuencas Rímac y Alto Mantaro, medido en la E.H. Chosica. Periodo 2014 – 2018

CAUDAL (m ³ /s)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
Régimen Natural (1)	43,7	63,1	74,8	43,9	22,3	16,8	14,1	14,2	15,1	17,5	22,6	33,3	31,8
Régimen Intervenido (2)	43,5	63,5	77,6	48,7	31,8	28,0	27,5	27,7	29,2	30,0	31,8	37,0	39,7
Regulación (2) – (1)	-0,2	0,4	2,8	4,8	9,4	11,2	13,5	13,6	14,0	12,5	9,2	3,7	7,9

Tabla 28: Análisis del volumen regulado en las cuencas Rímac y Alto Mantaro, medido en la E.H. Chosica. Periodo 2014 – 2018

VOLUMEN (hm ³)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Régimen Natural (1)	117,0	152,7	200,4	113,7	59,8	43,6	37,7	38,0	39,2	46,9	58,6	89,2	996,9
Régimen Intervenido (2)	116,5	153,7	207,8	126,2	85,0	72,7	73,7	74,3	75,6	80,3	82,5	99,1	1247,5
Regulación (2) – (1)	-0,6	0,9	7,5	12,6	25,2	29,1	36,1	36,3	36,4	33,4	23,9	9,9	250,6

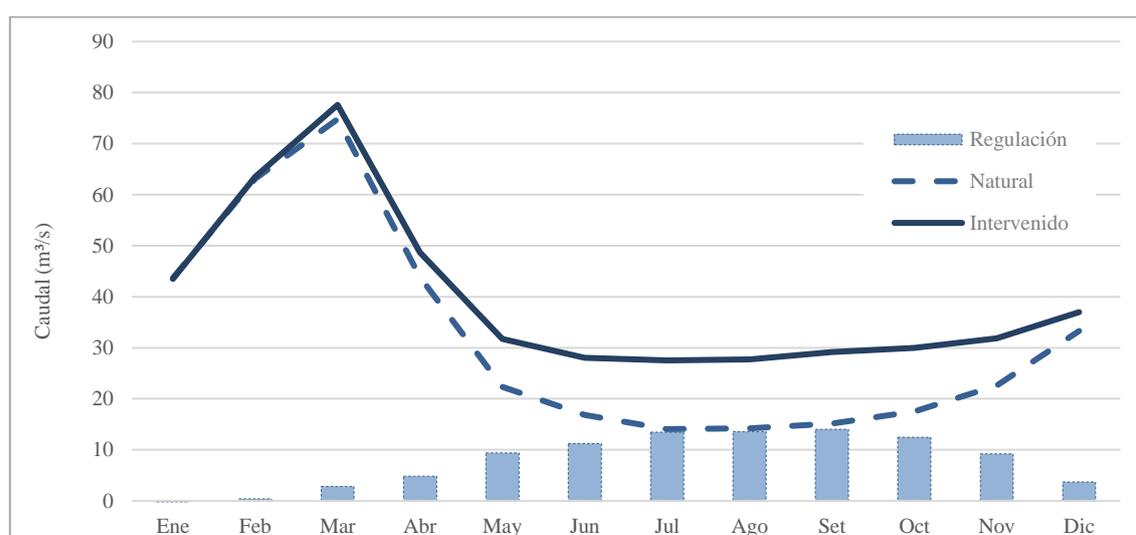


Figura 48: Análisis de caudales en E.H. Chosica (m³/s). Periodo 2014 – 2018

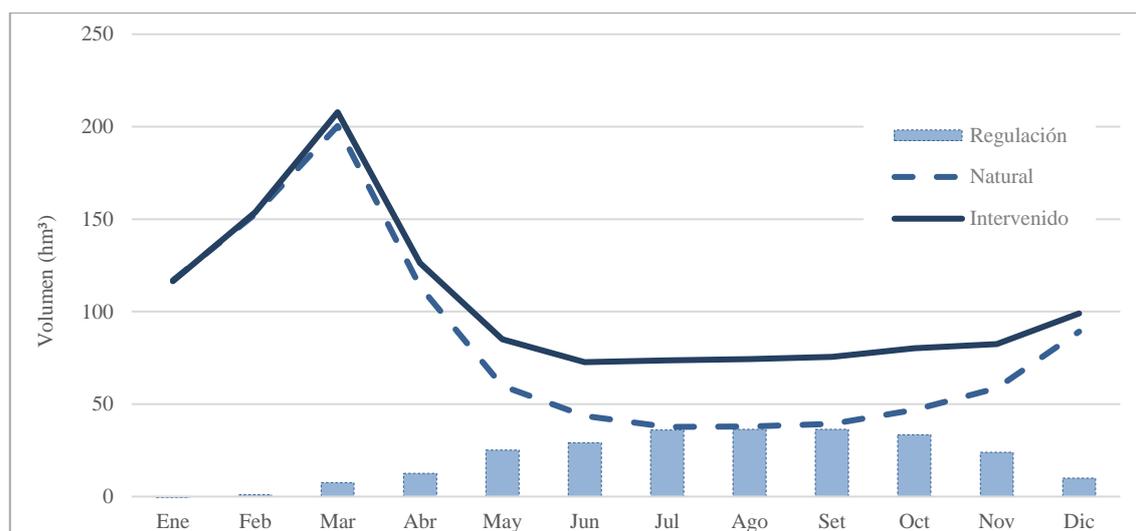


Figura 49: Análisis de volúmenes en E.H. Chosica (hm³). Periodo 2014 – 2018

Bajo un régimen natural la oferta hídrica de la cuenca Rímac es 996,9 hm³/año, los embalses construidos en la cuenca, y, el sistema de afianzamiento y trasvase Marcapomacocha, permitieron incrementar la oferta hasta 1247,5 hm³/año, representando un incremento de 250,6 hm³ adicionales.

Los volúmenes de aporte durante la época de avenida ocurren por la recolección de agua de las cuencas no reguladas de la zona del Alto Mantaro y que, finalmente son trasvasados a través del túnel trasandino; incluye además, los desembalses ocasionales de las presas, con el fin de incrementar los caudales turbinados por las centrales hidroeléctricas, en horas de mayor producción; asimismo, ocurren años donde la precipitación suele presentarse de forma tardía a finales de diciembre por lo que es necesario seguir desembalsando agua hasta el último mes del año para abastecer a la ciudad de Lima.

El aporte de los embalses durante la época de estiaje (mayo-noviembre) fue 220,4 hm³; esto significa que, considerando que se tiene un volumen máximo de regulación en los embalses de 361,4 hm³, el volumen de reserva fue 141 hm³.

El volumen de reserva obtenido se encuentra levemente por debajo del volumen de “restricción”. De acuerdo a la información revisada en Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurin (2019), se indica que el volumen de “restricción” equivale a 143 hm³, y se describe como “la situación en la que existe agua en los embalses, pero su descarga está restringida para asegurar la disponibilidad de agua durante la época de estiaje, sobre todo durante la ocurrencia de años secos”.

4.3 BALANCE HÍDRICO DEL PERIODO 1965 - 2018 Y BALANCE HÍDRICO DE ESCENARIOS FUTUROS

4.3.1 Modelo de gestión en WEAP

Sobre una base hidrológica, debidamente calibrada, se elaboró el modelo de gestión, cuya importancia es que en él se incluyó la infraestructura hidráulica física actual y futura, las demandas poblacionales actuales y futuras, las demandas agrícolas, industriales, pecuarias, etc. Todos estos elementos contribuyen a obtener un modelo completo que se usa como herramienta de apoyo en la toma de decisiones, para el análisis y gestión de una cuenca.

En la Figura 50 se presenta, el modelo de gestión elaborado en WEAP, que representa el esquema hidráulico de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y la zona de influencia del Alto Mantaro, así como todos los elementos que intervienen en la gestión del recurso hídrico para el abastecimiento poblacional de la ciudad de Lima.

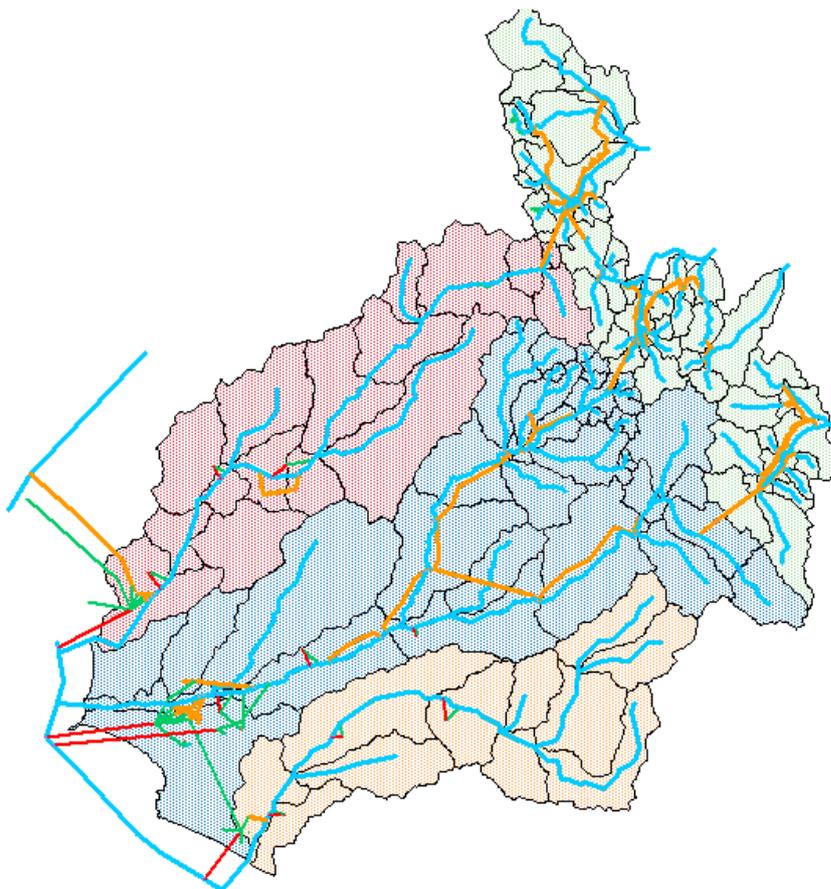


Figura 50: Modelo de gestión del agua para abastecimiento poblacional de la ciudad de Lima elaborado en WEAP

4.3.2 Balance hídrico del periodo 1965 – 2018

Para el periodo de evaluación 1965 - 2018, la oferta anual de agua para uso poblacional proveniente de fuente superficial fue en promedio 522,0 hm³, varía desde 270,0 hm³ durante los primeros años hasta 690,0 hm³ en los últimos; la oferta de agua, está condicionada a la implementación de las obras de regulación y trasvase, además de, la construcción y posterior ampliación de las PTAP.

La oferta anual de agua para uso poblacional proveniente de fuentes subterráneas fue en promedio 105,5 hm³. Durante el periodo 1974 - 2001 el volumen anual de extracción fue en promedio 151,0 hm³ debido a la sobreexplotación del acuífero, del 2002 al 2018 se registró un volumen anual de extracción promedio de 50 hm³.

La oferta de agua anual proveniente de fuente superficial y subterránea, para el periodo evaluado, fue en promedio 627,5 hm³ que fueron entregados para satisfacer la demanda total (690,9 hm³), con un déficit de 63,4 hm³, equivalente al 9 por ciento; por lo tanto, la satisfacción de la demanda fue 91 por ciento. Ver Tabla 29.

Tabla 29: Balance hídrico del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 1965 – 2018

COMPONENTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Oferta hídrica													
O. superficial	46,9	42,6	46,9	45,4	43,8	41,6	40,1	41,4	41,3	43,2	42,2	46,8	522,0
O. subterránea	9,0	11,7	10,3	11,0	8,1	8,1	9,2	7,8	7,9	7,0	7,9	7,4	105,5
O. total	55,9	54,3	57,2	56,5	51,9	49,7	49,2	49,3	49,2	50,2	50,1	54,2	627,5
Demanda poblacional													
V. total*	59,9	60,9	61,7	61,4	58,1	55,5	54,6	54,6	54,9	55,8	56,1	57,5	690,9
Balance													
V. entregado	55,9	54,3	57,2	56,5	51,9	49,7	49,2	49,3	49,2	50,2	50,1	54,2	627,5
V. déficit	4,0	6,6	4,5	5,0	6,2	5,8	5,3	5,3	5,7	5,6	6,0	3,4	63,4

* Volumen total = volumen entregado a la demanda + el volumen de déficit

En la Figura 51, se presenta el balance hídrico, del abastecimiento de agua para uso poblacional.

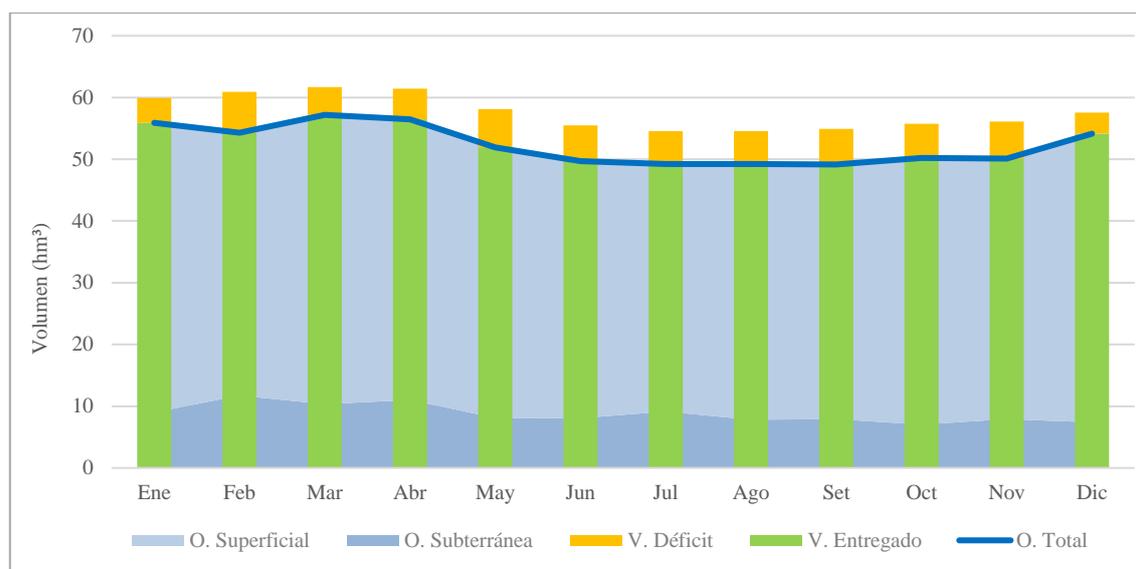


Figura 51: Balance hídrico del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 1965 – 2018

El análisis de confiabilidad en el tiempo para este periodo resultó en 71 por ciento, que es un valor bajo, siendo lo mínimo aceptable 95 por ciento para las demandas poblacionales. Esta baja confiabilidad es afectada por los meses durante los primeros años del periodo de análisis, con grandes volúmenes de déficit, debido a que no se contaba con suficiente infraestructura de captación, manejo y tratamiento para producción de agua potable.

4.3.3 Balance hídrico futuro (análisis de escenarios)

a. Escenario 1: crecimiento tendencial y sin desarrollo de proyectos futuros

La oferta anual de agua proveniente de fuente superficial será 709,2 hm³; y, de fuente subterránea, 111,9 hm³; con una oferta total de 821,1 hm³, que serán entregados para satisfacer la demanda total (874,7 hm³), con un déficit de 53,6 hm³, equivalente al 6 por ciento; por lo tanto, la satisfacción de la demanda sería del 94 por ciento. Ver Tabla 30 y Figura 52.

Tabla 30: Balance hídrico para el Escenario 1 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 2019 – 2045

COMPONENTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Oferta hídrica													
O. superficial	62,7	63,0	65,1	63,5	58,6	55,8	54,9	55,9	54,8	57,7	56,5	60,6	709,2
O. subterránea	10,6	10,6	11,3	11,3	9,7	8,8	7,5	7,1	8,5	7,9	9,2	9,3	111,9
O. total	73,3	73,7	76,4	74,8	68,3	64,6	62,4	63,1	63,3	65,6	65,8	69,9	821,1
Demanda poblacional													
V. total*	75,9	77,2	78,2	77,8	73,6	70,2	69,0	69,0	69,5	70,5	71,0	72,8	874,7
Balance													
V. entregado	73,3	73,7	76,4	74,8	68,3	64,6	62,4	63,1	63,3	65,6	65,8	69,9	821,1
V. déficit	2,5	3,6	1,8	3,0	5,3	5,6	6,6	6,0	6,1	4,9	5,2	3,0	53,6

* Volumen total = volumen entregado a la demanda + el volumen de déficit

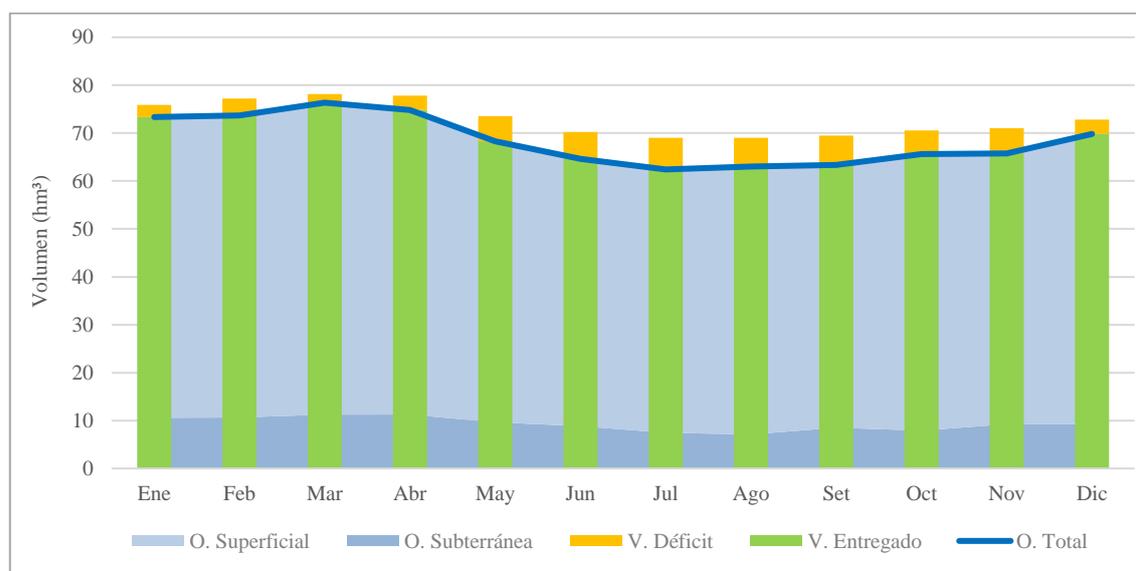


Figura 52: Balance hídrico para el Escenario 1 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 2019 – 2045

En el Escenario 1, con crecimiento tendencial de la demanda poblacional y sin desarrollo de proyectos futuros, se identificaron varios meses donde no se podría satisfacer toda la demanda, llegando a tener una confiabilidad en el tiempo igual a 90 por ciento, que resulta en un valor bajo, siendo lo mínimo aceptable 95 por ciento para las demandas poblacionales.

b. Escenario 2: crecimiento tendencial y con desarrollo de proyectos futuros

La oferta anual de agua proveniente de fuente superficial será 760,1 hm³; y, de fuente subterránea, 112,3 hm³; con una oferta total de 872,4 hm³, que serán entregados para satisfacer la demanda total (874,7 hm³), con un déficit de 2,3 hm³, equivalente al 0,3 por ciento; por lo tanto, la satisfacción de la demanda sería del 99,7 por ciento. Ver Tabla 31 y Figura 53.

Tabla 31: Balance hídrico para el Escenario 2 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 2019 – 2045

COMPONENTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Oferta hídrica													
O. superficial	64,5	64,3	65,7	64,7	63,4	61,3	63,3	63,3	61,3	63,3	61,3	63,7	760,1
O. subterránea	11,2	12,5	12,5	12,8	10,1	8,8	5,6	5,6	8,0	7,1	9,6	8,6	112,3
O. total	75,7	76,9	78,1	77,4	73,5	70,1	68,9	68,9	69,3	70,4	70,9	72,3	872,4
Demanda poblacional													
V. total*	75,9	77,2	78,1	77,8	73,6	70,2	69,0	69,0	69,5	70,5	71,0	72,8	874,7
Balance													
V. entregado	75,7	76,9	78,1	77,4	73,5	70,1	68,9	68,9	69,3	70,4	70,9	72,3	872,4
V. déficit	0,2	0,4	0,0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	2,3

* Volumen total = volumen entregado a la demanda + el volumen de déficit

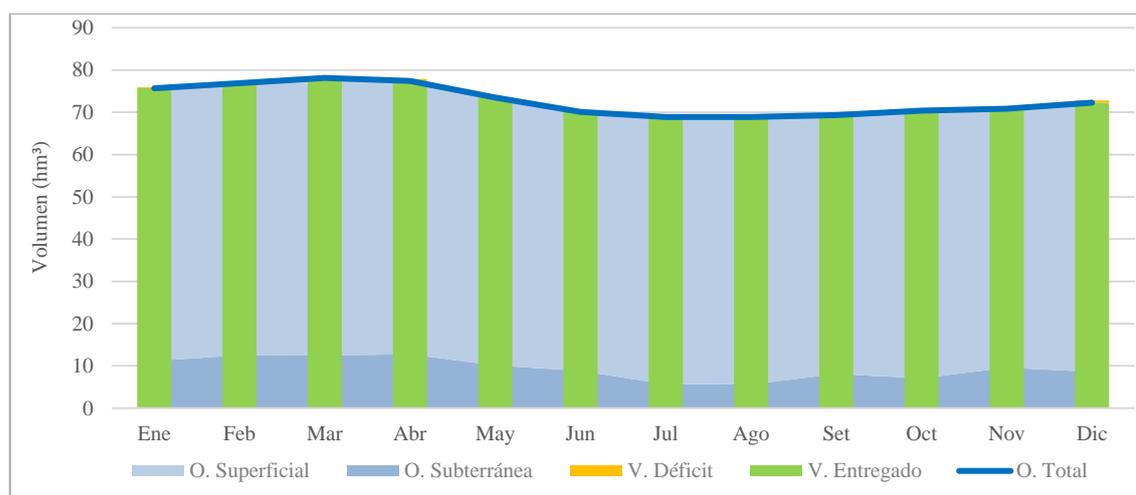


Figura 53: Balance hídrico para el Escenario 2 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 2019 – 2045

En el Escenario 2, con crecimiento tendencial de la demanda poblacional y con desarrollo de proyectos futuros, se identificaron muy pocos meses donde no se podría satisfacer toda la demanda, por lo que se llegó a tener una confiabilidad en el tiempo igual a 100 por ciento, que resulta en un valor excelente, considerando lo mínimo aceptable 95 por ciento para las demandas poblacionales.

c. Escenario 3: crecimiento alto y sin desarrollo de proyectos futuros

La oferta anual de agua proveniente de fuente superficial será 767,4 hm³; y, de fuente subterránea, 137,9 hm³; con una oferta total de 905,3 hm³, que serán entregados para satisfacer la demanda total (1031,9 hm³), con un déficit de 126,5 hm³, equivalente al 12 por ciento; por lo tanto, la satisfacción de la demanda sería del 88 por ciento. Ver Tabla 32 y Figura 54.

Tabla 32: Balance hídrico para el Escenario 3 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 2019 – 2045

COMPONENTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Oferta hídrica													
O. superficial	70,1	66,0	72,3	69,3	65,2	60,4	56,4	58,3	58,6	61,3	62,6	66,9	767,4
O. subterránea	11,8	10,6	11,8	11,4	11,8	11,4	11,4	11,4	11,4	11,7	11,4	11,8	137,9
O. total	81,9	76,6	84,1	80,7	77,0	71,8	67,9	69,8	70,0	72,9	74,0	78,7	905,3
Demanda poblacional													
V. total*	89,5	91,3	92,3	92,0	86,8	82,8	81,3	81,3	81,9	83,1	83,7	85,9	1031,9
Balance													
V. entregado	81,9	76,6	84,1	80,7	77,0	71,8	67,9	69,8	70,0	72,9	74,0	78,7	905,3
V. déficit	7,6	14,7	8,2	11,3	9,8	11,0	13,4	11,5	11,9	10,2	9,7	7,2	126,5

* Volumen total = volumen entregado a la demanda + el volumen de déficit

Bajo este Escenario 3 se presentó una sobreexplotación del acuífero, puesto que el límite de explotación es 126.1 hm³/año (considerando una extracción máxima de 4 m³/s). El límite máximo de extracción se detalla en el Capítulo 3.1.11.

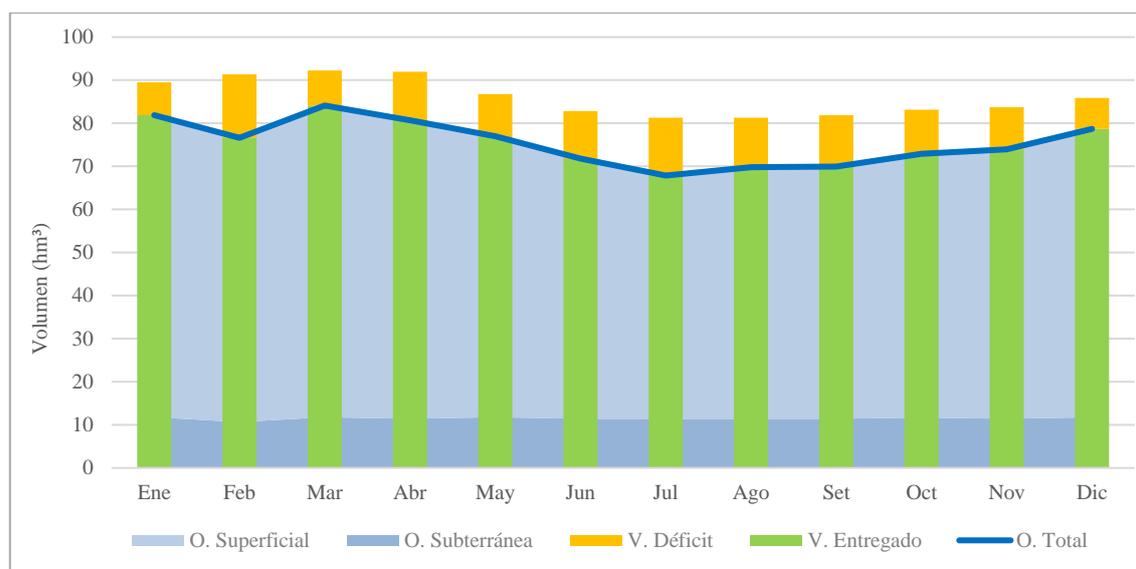


Figura 54: Balance hídrico para el Escenario 3 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 2019 – 2045

En el Escenario 3, con crecimiento alto de la demanda poblacional y sin desarrollo de proyectos futuros, se identificaron una gran cantidad de meses donde no se podría satisfacer toda la demanda, sobre todo durante la ocurrencia de años secos; a pesar que, en este escenario se hizo un uso más intensivo de las aguas subterráneas, no se llegó a tener una buena confiabilidad en el tiempo resultando en un valor de 58 por ciento, siendo muy bajo, ya que lo mínimo aceptable es 95 por ciento para las demandas poblacionales.

El Escenario 3, resulta ser un poco extremo, pues no es posible concebir que no se desarrolle ni siquiera uno de los proyectos a largo plazo; sin embargo, teniendo en cuenta el desarrollo de las políticas de Estado en el Perú, existe una posibilidad de llegar a esta situación.

d. Escenario 4: crecimiento alto y con desarrollo de proyectos futuros

La oferta anual de agua proveniente de fuente superficial será 852,8 hm³; y, de fuente subterránea 166,8 hm³; con una oferta total de 1019,5 hm³, que serán entregados para satisfacer la demanda total (1031,9 hm³), con un déficit de 12,3 hm³, equivalente al 1 por ciento; por lo tanto, la satisfacción de la demanda sería del 99 por ciento. Ver Tabla 33 y Figura 55.

Tabla 33: Balance hídrico para el Escenario 4 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 2019 – 2045

COMPONENTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Oferta hídrica													
O. superficial	74,0	76,2	77,4	75,5	71,7	68,2	66,7	67,1	67,4	68,8	69,2	70,5	852,8
O. subterránea	14,0	12,6	14,0	13,5	14,7	14,1	13,8	13,8	14,0	14,2	14,2	13,9	166,8
O. total	88,0	88,8	91,4	89,1	86,4	82,3	80,5	80,9	81,4	83,0	83,4	84,4	1019,5
Demanda poblacional													
V. total*	89,5	91,3	92,3	92,0	86,8	82,8	81,3	81,3	81,9	83,1	83,7	85,9	1031,9
Balance													
V. entregado	88,0	88,8	91,4	89,1	86,4	82,3	80,5	80,9	81,4	83,0	83,4	84,4	1019,5
V. déficit	1,6	2,5	0,9	2,9	0,4	0,5	0,8	0,4	0,5	0,1	0,3	1,5	12,3

* Volumen total = volumen entregado a la demanda + el volumen de déficit

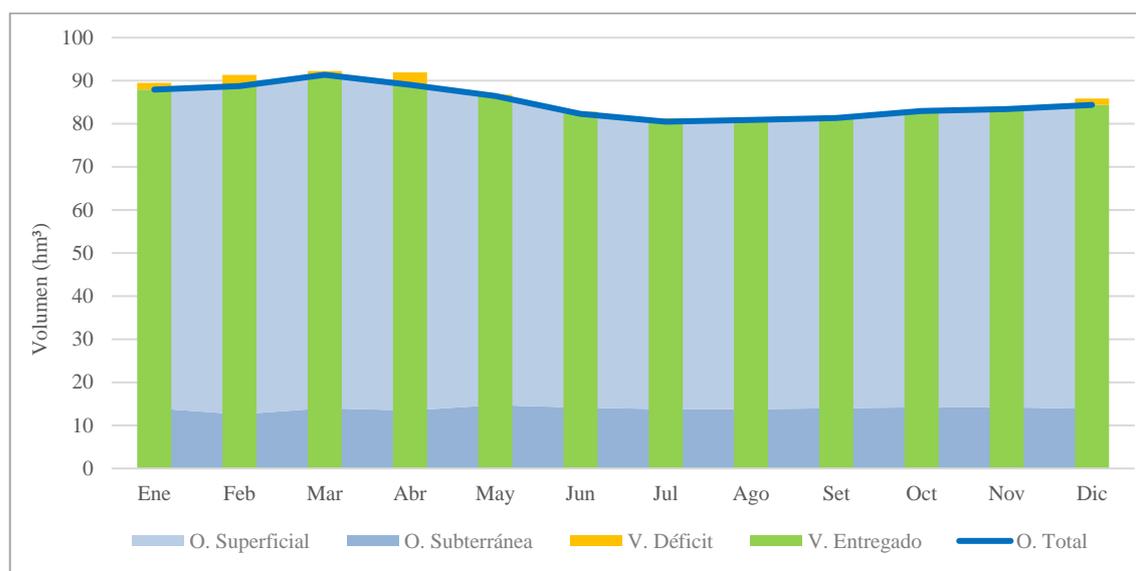


Figura 55: Balance hídrico para el Escenario 4 del abastecimiento de agua para uso poblacional de la ciudad de Lima (hm³). Periodo 2019 – 2045

En el Escenario 4, con crecimiento alto de la demanda poblacional y con desarrollo de proyectos futuros, se identificaron pocos meses donde no se podría satisfacer toda la demanda, llegando a tener una confiabilidad del sistema en el tiempo igual a 97 por ciento que resulta en un valor muy bueno, siendo lo mínimo aceptable 95 por ciento para las demandas poblacionales.

V CONCLUSIONES

1. Se elaboró el modelo hidrológico en WEAP de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Alto Mantaro, con el cual se obtuvo la disponibilidad hídrica de las cuencas, tanto en régimen natural, como en régimen intervenido. Los resultados de disponibilidad hídrica al 95 por ciento de persistencia (valor para abastecimiento poblacional) indican que: 1) La cuenca Chillón presenta una disponibilidad hídrica de 88,6 hm³/año en régimen natural, mientras que en régimen intervenido (con obras de almacenamiento) se incrementa en +30,9 hm³/año llegando a tener un total de 119,5 hm³/año; 2) La cuenca Rímac pasa de 484,3 hm³/año en régimen natural a 646,6 hm³/año en régimen intervenido, es decir, un incremento de +162,3 hm³/año con las obras de almacenamiento y trasvase; 3) La cuenca Lurín pasa de 46,1 hm³/año en régimen natural a 38,3 hm³/año en régimen intervenido, se aprecia una disminución – en la parte baja - del volumen disponible debido a las mayores demandas en la zona alta de la cuenca.
2. La regulación del sistema de Rímac – Mantaro comprende 22 represamientos (volumen útil de 361,4 hm³) construidos en la cuenca alta y un túnel de trasvase. Para el periodo evaluado el sistema regulado logró incrementar en +250,6 hm³/año la oferta en el río Rímac, pasando de 996,9 hm³/año (natural) a 12447,5 hm³/año (intervenido); el mayor aporte es durante el estiaje (mayo – noviembre) con 220,4 hm³.
3. Se ha elaborado el modelo de gestión en WEAP del sistema de abastecimiento poblacional de la ciudad de Lima, que representa el esquema hidráulico y la infraestructura actual y futura de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y la zona de influencia del Alto Mantaro. Los resultados indican que, el balance hídrico para el periodo 1965-2018 tuvo un déficit de 9 por ciento; en el Escenario 1 (crecimiento tendencial sin proyectos), de 6 por ciento; en el Escenario 2 (crecimiento tendencial con proyectos), de 0,3 por ciento; en el Escenario 3 (crecimiento alto sin proyectos), de 12 por ciento; y, en el Escenario 4 (crecimiento alto con proyectos), un déficit de 1 por ciento.

VI RECOMENDACIONES

1. Proseguir con la línea de investigación en Modelos de Gestión de Cuencas analizando en futuras investigaciones y/o tesis los siguientes aspectos:
 - Inclusión de escenarios de cambio climático y evaluación de las medidas para su adaptación.
 - Evaluación de las pérdidas las pérdidas existentes entre el tramo Chosica – La Atarjea debido al bombeo de agua subterránea sobre las márgenes del cauce por parte de usuarios privados. Asimismo, se recomienda incluir escenarios de recarga artificial del acuífero con aguas residuales tratadas, y con ello analizar el incremento en la explotación de agua subterránea.
 - Inclusión de escenarios para el régimen intervenido como: políticas de reducción de consumo de agua, reducción de pérdidas en las redes, aplicación de construcción sostenible (en relación a la eficiencia hídrica), a fin de tener un dato más real de un requerimiento intervenido.
 - Inclusión de otros escenarios de crecimiento poblacional, considerando la tasa de crecimiento en Lima pre y post pandemia por COVID-19, debido a la migración extranjera y retorno de personas desde Lima hacia las zonas rurales; asimismo, analizar cuáles son las tasas de crecimiento con mayor probabilidad de ocurrencia.
 - Evaluación de escenarios de infraestructura natural y verde, por ejemplo: recuperación de bofedales, construcción y recuperación de amunas, reforestación, conservación de pastizales, entre otros; cuyo principal objetivo sería analizar la recarga de acuíferos y la regulación hídrica.
2. Acoplar en futuros modelos de gestión construidos en WEAP un modelo de aguas subterráneas elaborado en MODFLOW a fin de analizar con mayor detalle el comportamiento del agua subterránea en las cuencas.

VII BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2010). *Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac*. (Vol. 1). Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016). *Priorización de cuencas para la gestión de los recursos hídricos*. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2017). *www.ana.gob.pe*. <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/enfoque-de-cuenca-0>.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2018). *Estado situacional de los recursos hídricos en las cuencas Chillón, Rímac y Lurín 2016/2017*. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2019). *www.ana.gob.pe*. <http://geo.ana.gob.pe:8080/geoportal/>.
- Cabrera, J. (2017). *Modelos hidrológicos*. 8. (F. d. Civil, Ed.) Lima, Peru: Universidad Nacional de Ingeniería. http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.
- Castro, L. M., Carvajal, Y. y Ávila, A. J. (2012). *Análisis cluster como técnica de análisis exploratorio de registros múltiples en datos meteorológicos*. Ingeniería de recursos naturales y del ambiente(11), 11-20. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231125817001>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., y Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., y Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Recursos Naturales e Infraestructura - Serie 47.
- Espinoza, J. C. (2005). *El método del vector regional de índices pluviométricos*. Manual de curso taller, SENAMHI, Lima. <http://sites.google.com/site/jhancarloespinoza>

- Guevara, E. (2015). *Métodos para el análisis de variables hidrológicas y ambientales*. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3940?show=full>
- Gwo-Fong, L., & Lu-Hsein, C. (2006). *Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map*. *Journal of Hydrology*, 324, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.09.009>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2017). *Compendio Estadístico Provincia de Lima*. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA]. (2003). *Estudio integral de los recursos hídricos de la cuenca del río Chillón*. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA]. (2004). *Estudio hidrológico de la cuenca del río Lurín*. Lima, Perú.
- Jorquera, E., Weber, J. F., y Reyna, S. M. (20 de Octubre de 2014). *Revisión del estado de arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada*. Córdoba, Argentina. https://www.ina.gob.ar/pdf/ifrrhh/03_014_Jorquera.pdf
- Maidment, D. R. (1993). *Handbook of Hydrology*. New York, EE.UU.: McGraw-Hill.
- Mejía, A. (2015). *Recopilación y análisis de datos hidrológicos*. Material de Curso, Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento de recursos hídricos, Lima, Perú.
- Ministerio de Educación [MINEDU]. (2017). <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>. Lima Perú.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal*. Lima, Perú.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. V., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). *Model evaluation Guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. *Soil & Water Division of ASABE*, 50, 885-900.

- Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín [OA CHIRILU]. (2019). *Diagnóstico inicial para el plan de gestión de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca*. Lima, Perú. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3901>.
- Salvador, M., y Gargallo, P. (2017). *www.5campus.com*. Análisis exploratorio de datos: <http://www.5campus.com/leccion/aed>.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL]. (2014). *Plan maestro de los sistemas de agua potable y alcantarillado. Tomo III: programa de inversiones*. Lima, Perú.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2017). *www.senamhi.gob.pe*. Datos hidrometeorológicos a nivel nacional: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Sieber, J., & Purkey, D. (2015). *WEAP User Guide*. Somerville, MA, EE.UU. https://www.weap21.org/downloads/WEAP_User_Guide.pdf
- Stockholm Environment Institute [SEI]. (2017a). *www.weap21.org*. ¿Por qué WEAP?: <https://www.weap21.org/index.asp?action=201>
- Stockholm Environment Institute [SEI]. (2017b). *www.weap21.org*. Características de WEAP: <https://www.weap21.org/index.asp?action=202>
- Universidad Católica de Chile [UC] y Stockholm Environment Institute [SEI]. (2009). *Guía Metodológica - Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP*. Centro de Cambio Global, Santiago. https://www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf
- United States Army Corps of Engineers [USACE]. (1971). *HEC-4 Monthly Streamflow Simulation*. Computer Program Documentation, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis CA.
- Xu, Chong-yu. (2002). *Textbook of Hydrologic Models*. Uppsala, Suecia.

VIII ANEXOS

ANEXO 1: HIDROGRAMAS DE CAUDALES EN ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

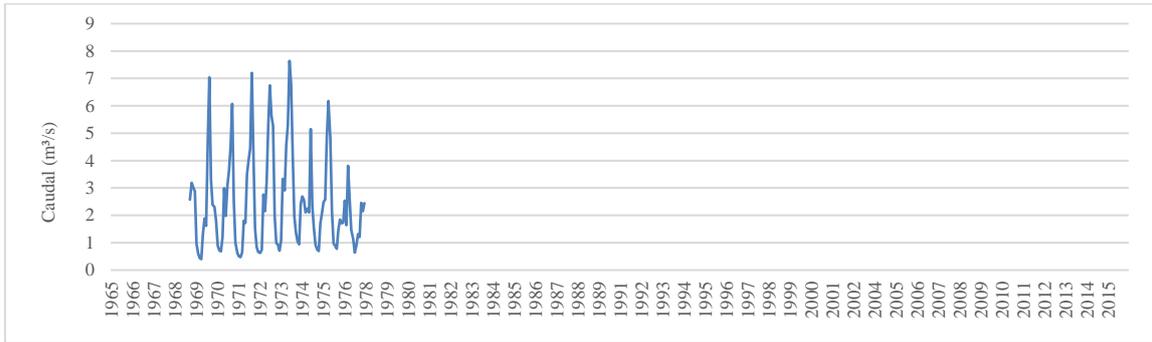


Figura 56: Hidrograma de caudales en la E.H. Pariacancha - cuenca Chillón

FUENTE: PROACC

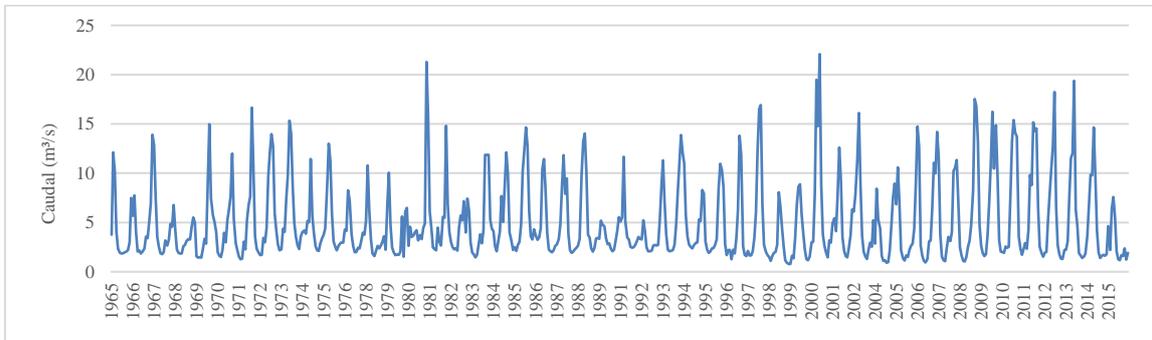


Figura 57: Hidrograma de caudales en la E.H. Obrajillo - cuenca Chillón

FUENTE: PROACC

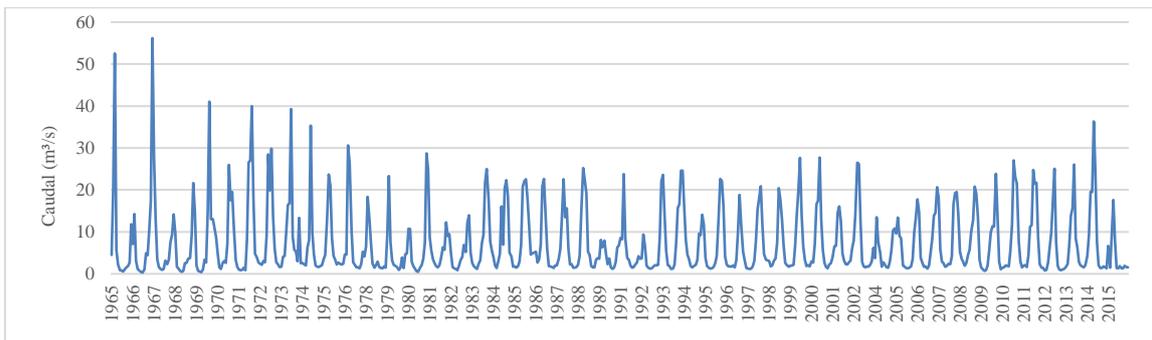


Figura 58: Hidrograma de caudales en la E.H. Puente Magdalena - cuenca Chillón

FUENTE: PROACC

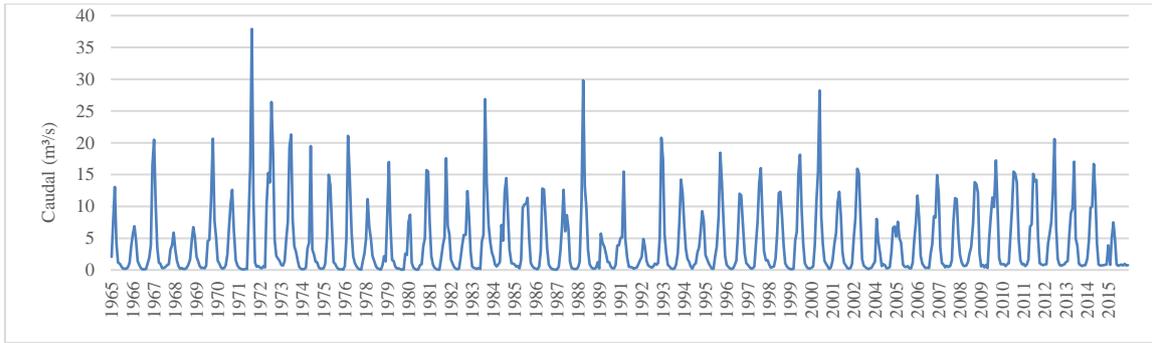


Figura 59: Hidrograma de caudales en la E.H. Manchay - cuenca Lurín

FUENTE: PROACC

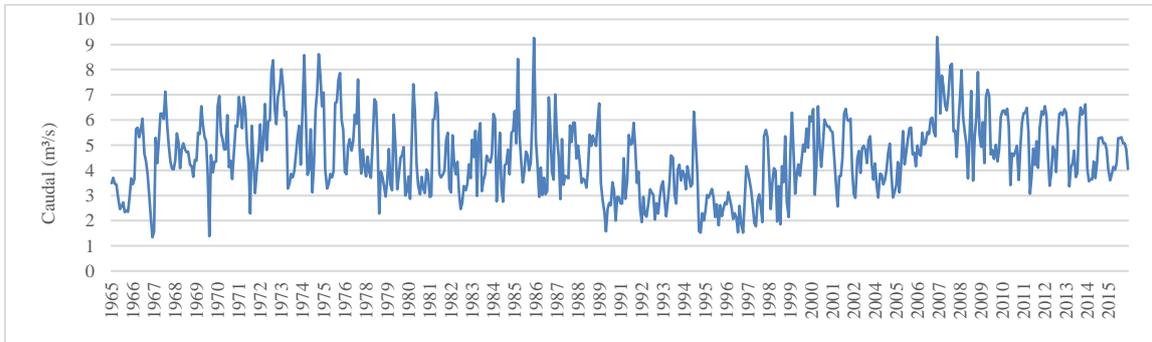


Figura 60: Hidrograma de caudales en la E.H. Milloc - cuenca Rímac

FUENTE: PROACC

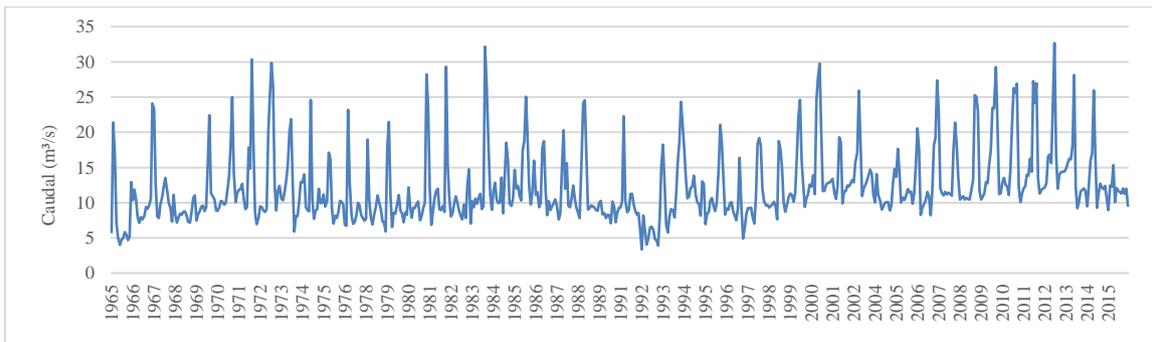


Figura 61: Hidrograma de caudales en la E.H. Sheque - cuenca Rímac

FUENTE: PROACC

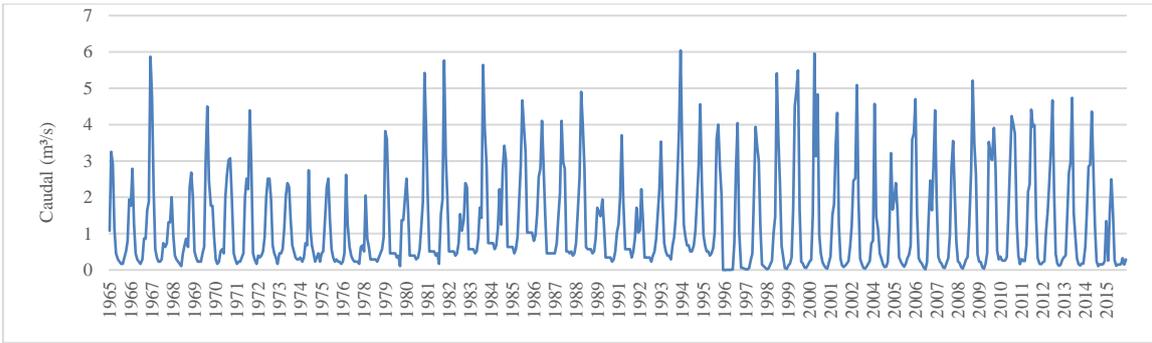


Figura 62: Hidrograma de caudales en la E.H. Yuracmayo - cuenca Rímac

FUENTE: PROACC

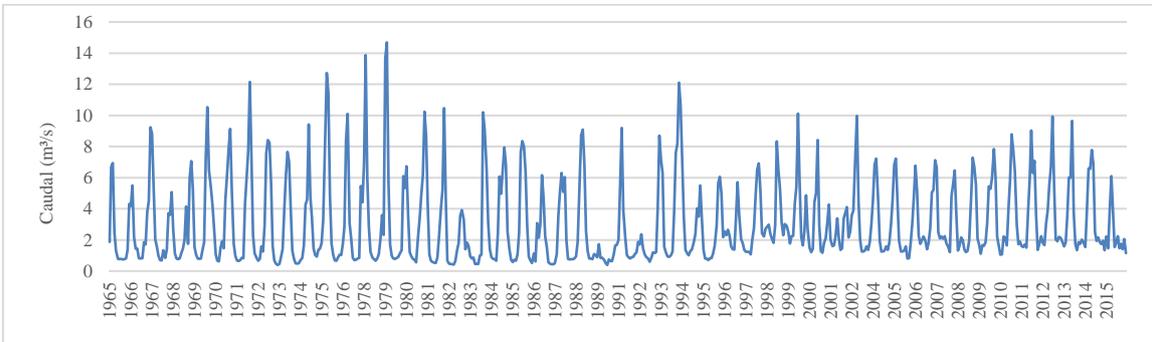


Figura 63: Hidrograma de caudales en la E.H. Río Blanco - cuenca Rímac

FUENTE: PROACC

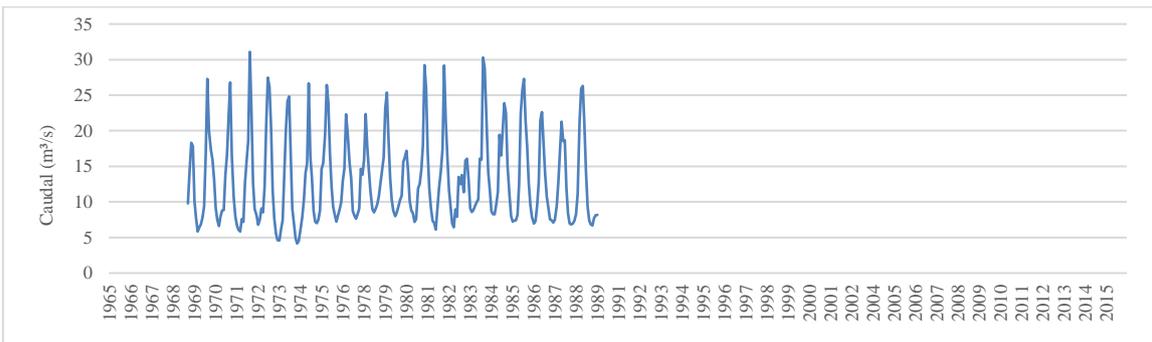


Figura 64: Hidrograma de caudales en la E.H. San Mateo - cuenca Rímac

FUENTE: PROACC

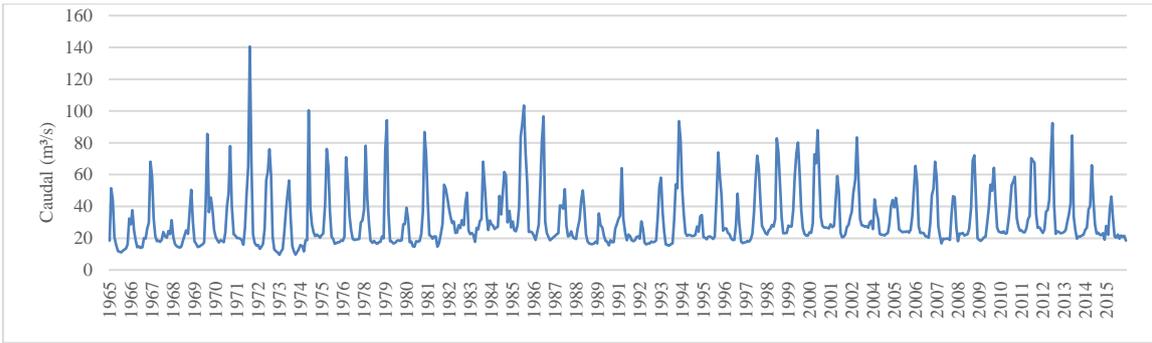


Figura 65: Hidrograma de caudales en la E.H. Chosica - cuenca Rímac

FUENTE: PROACC

ANEXO 2: DISTRIBUCIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL POR MICROCUENCA

Tabla 34: Distribución de cobertura vegetal en la cuenca Rímac

MICRO-CUENCA	ÁREA (km ²)	ÁREA DE COBERTURA VEGETAL (%)							
		AGRI-CULTURA	ÁREA ALTO-ANDINA	ÁREA URBANA	BOFEDAL	CARDONAL	DESIERTO	MATORRAL	PAJONAL
R - 01	8,8	-	100,0	-	-	-	-	-	-
R - 02	3,4	-	100,0	-	-	-	-	-	-
R - 03	13,8	-	100,0	-	-	-	-	-	-
R - 04	6,2	-	100,0	-	-	-	-	-	-
R - 05	7,5	-	100,0	-	-	-	-	-	-
R - 06	10,8	-	100,0	-	-	-	-	-	-
R - 07	8,5	-	100,0	-	-	-	-	-	-
R - 08	9,1	-	83,2	-	-	-	-	-	16,8
R - 09	7,8	-	63,7	-	-	-	-	-	36,3
R - 10	2,3	-	79,0	-	-	-	-	-	21,0
R - 11	4,9	-	54,9	-	-	-	-	-	45,1
R - 12	32,4	-	92,8	-	7,2	-	-	-	-
R - 13	7,3	-	100,0	-	-	-	-	-	-
R - 14	6,3	-	100,0	-	-	-	-	-	-
R - 15	131,8	-	38,2	-	3,6	-	-	10,9	47,3
R - 16	71,6	-	66,5	-	-	-	-	7,7	25,8
R - 17	113,0	-	28,7	-	-	-	-	8,8	62,5
R - 18	41,6	-	79,6	-	-	-	-	-	20,4
R - 19	49,5	-	19,3	-	-	-	-	37,3	43,4
R - 20	99,0	-	7,2	-	-	-	-	10,1	82,7
R - 21	156,9	-	-	-	-	-	-	53,0	47,0
R - 22	283,3	4,9	-	-	-	29,5	6,2	39,5	19,9
R - 23	173,2	-	40,8	-	-	-	-	-	59,2
R - 24	72,6	-	24,9	-	-	-	-	20,2	54,9
R - 25	100,2	-	60,7	-	-	-	-	-	39,3
R - 26	107,2	-	24,4	-	-	-	-	7,2	68,4
R - 27	130,9	-	38,1	-	-	-	-	9,7	52,2
R - 28	318,2	7,9	5,8	-	-	3,8	-	50,6	31,9
R - 29	116,0	7,3	-	-	-	21,0	-	38,3	33,4
R - 30	229,2	8,1	-	-	-	44,7	13,0	34,2	-
R - 31	238,1	-	-	22,2	-	-	77,8	-	-
R - 32	492,9	-	-	-	-	34,3	48,0	17,7	-
R - 33	58,2	-	-	100,0	-	-	-	-	-
R - 34	134,1	-	-	41,2	-	-	58,8	-	-
R - 35	122,4	-	-	100,0	-	-	-	-	-
R - 36	397,3	-	-	72,0	-	-	28,0	-	-

Tabla 35: Distribución de cobertura vegetal en la cuenca Chillón

MICRO-CUENCA	ÁREA (km ²)	ÁREA DE COBERTURA VEGETAL (%)							
		AGRI-CULTURA	ÁREA ALTO-ANDINA	ÁREA URBANA	BOFEDAL	CARDONAL	DESIERTO	MATORRAL	PAJONAL
C - 01	10,6	-	70,8	-	-	-	-	-	29,2
C - 02	84,3	-	49,1	-	5,5	-	-	-	45,4
C - 03	51,6	-	11,9	-	-	-	-	-	88,1
C - 04	214,8	2,5	14,5	-	-	-	-	24,4	58,6
C - 05	61,3	5,3	-	-	-	-	-	26,1	68,6
C - 06	162,7	16,3	-	-	-	12,0	-	50,5	21,2
C - 07	197,2	11,2	-	-	-	40,5	7,1	41,2	-
C - 08	395,3	6,3	8,0	-	-	15,5	-	39,9	30,3
C - 09	76,7	-	-	-	-	49,8	24,2	26,0	-
C - 10	89,7	-	-	-	-	38,6	61,4	-	-
C - 11	199,6	-	-	-	-	54,1	34,8	11,1	-
C - 12	42,9	-	-	-	-	-	100,0	-	-
C - 13	149,1	-	-	-	-	-	100,0	-	-
C - 14	169,8	-	-	-	-	26,5	73,5	-	-
C - 15	75,0	-	-	-	-	-	100,0	-	-
C - 16	202,2	-	-	30,8	-	-	69,2	-	-

Tabla 36: Distribución de cobertura vegetal en la cuenca Lurín

MICRO-CUENCA	ÁREA (km ²)	ÁREA DE COBERTURA VEGETAL (%)							
		AGRI-CULTURA	ÁREA ALTO-ANDINA	ÁREA URBANA	BOFEDAL	CARDONAL	DESIERTO	MATORRAL	PAJONAL
L - 01	124,6	-	13,8	-	-	-	-	8,4	77,8
L - 02	125,6	10,4	18,3	-	-	-	-	-	71,3
L - 03	172,1	6,9	-	-	-	-	-	34,1	59,0
L - 04	183,3	10,5	-	-	-	-	-	53,5	36,0
L - 05	89,2	5,6	-	-	-	18,4	-	49,5	26,5
L - 06	92,4	-	-	-	-	33,7	-	50,2	16,1
L - 07	164,2	-	-	-	-	54,7	8,7	36,6	-
L - 08	327,2	4,9	-	-	-	32,0	63,1	-	-
L - 09	164,0	-	-	-	-	34,5	65,5	-	-
L - 10	127,4	18,1	-	-	-	-	81,9	-	-
L - 11	80,3	36,1	-	-	-	-	63,9	-	-

Tabla 37: Distribución de cobertura vegetal en la cuenca Alto Mantaro

MICRO-CUENCA	ÁREA (km ²)	ÁREA DE COBERTURA VEGETAL (%)							
		AGRI-CULTURA	ÁREA ALTO-ANDINA	ÁREA URBANA	BOFEDAL	CARDONAL	DESIERTO	MATORRAL	PAJONAL
AM - 01	13,3	-	25,5	-	5,1	-	-	-	69,4
AM - 02	12,4	-	37,4	-	11,3	-	-	-	51,3
AM - 03	16,6	-	87,3	-	-	-	-	-	12,7
AM - 04	104,9	-	61,8	-	-	-	-	-	38,2
AM - 05	72,2	-	40,6	-	3,6	-	-	-	55,8
AM - 06	64,5	-	41,2	-	2,0	-	-	-	56,8
AM - 07	11,6	-	21,4	-	-	-	-	-	78,6
AM - 08	57,0	-	64,7	-	2,1	-	-	-	33,2
AM - 09	52,4	-	31,2	-	2,6	-	-	-	66,2
AM - 10	34,7	-	-	-	4,8	-	-	-	95,2
AM - 11	93,3	-	8,4	-	1,6	-	-	-	90,0
AM - 12	25,7	-	55,0	-	15,5	-	-	-	29,5
AM - 13	14,0	-	44,7	-	14,0	-	-	-	41,3
AM - 14	40,0	-	-	-	12,3	-	-	-	87,7
AM - 15	20,1	-	20,3	-	13,0	-	-	-	66,7
AM - 16	13,1	-	16,6	-	21,4	-	-	-	62,0
AM - 17	10,3	-	24,6	-	12,2	-	-	-	63,2
AM - 18	15,1	-	40,8	-	14,7	-	-	-	44,5
AM - 19	49,8	-	52,6	-	7,4	-	-	-	40,0
AM - 20	19,1	-	89,3	-	-	-	-	-	10,7
AM - 21	19,9	-	85,5	-	-	-	-	-	14,5
AM - 22	118,7	-	14,5	-	7,8	-	-	-	77,7
AM - 23	34,1	-	-	-	-	-	-	-	100,0
AM - 24	24,5	-	-	-	-	-	-	-	100,0
AM - 25	48,4	-	10,2	-	9,5	-	-	-	80,3
AM - 26	50,8	-	70,2	-	-	-	-	-	29,8
AM - 27	82,2	-	15,4	-	4,7	-	-	-	79,9
AM - 28	12,6	-	38,9	-	-	-	-	-	61,1
AM - 29	10,8	-	-	-	-	-	-	-	100,0
AM - 30	10,9	-	-	-	9,4	-	-	-	90,6
AM - 31	7,6	-	-	-	-	-	-	-	100,0
AM - 32	18,9	-	30,2	-	-	-	-	-	69,8
AM - 33	24,8	-	38,3	-	-	-	-	-	61,7
AM - 34	7,8	-	35,6	-	-	-	-	-	64,4
AM - 35	10,5	-	31,7	-	-	-	-	-	68,3
AM - 36	23,0	-	23,8	-	-	-	-	-	76,2
AM - 37	7,9	-	27,2	-	-	-	-	-	72,8
AM - 38	120,7	-	-	-	10,0	-	-	-	90,0
AM - 39	133,3	-	-	-	7,7	-	-	-	92,3
AM - 40	41,8	-	24,0	-	-	-	-	-	76,0
AM - 41	97,2	-	-	-	10,5	-	-	-	89,5
AM - 42	25,3	-	-	-	31,5	-	-	-	68,5
AM - 43	60,0	-	-	-	28,5	-	-	-	71,5

ANEXO 3: SERIES CLIMÁTICAS POR MICROCUENCA

Tabla 38: Precipitación media mensual por microcuenca (mm). Periodo 1965 – 2018

MICRO-CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
R - 01	138	133	140	59	20	4	7	14	38	56	72	119	800
R - 02	147	141	149	63	21	4	8	15	40	59	77	126	848
R - 03	145	139	147	62	21	4	8	15	39	58	76	124	839
R - 04	150	144	152	64	21	4	8	15	41	60	78	129	868
R - 05	143	137	145	61	20	4	8	14	39	58	75	123	828
R - 06	142	136	144	61	20	4	8	14	39	57	74	122	820
R - 07	131	126	133	56	19	4	7	13	36	53	68	112	756
R - 08	143	138	145	61	20	4	8	14	39	58	75	123	828
R - 09	145	139	147	62	21	4	8	15	39	58	76	124	837
R - 10	149	148	155	70	24	10	11	19	41	71	68	117	883
R - 11	140	139	145	66	23	10	10	18	39	66	64	110	831
R - 12	134	129	136	58	19	4	7	13	36	54	70	115	775
R - 13	141	135	143	60	20	4	8	14	38	57	73	121	813
R - 14	138	132	140	59	20	4	7	14	37	55	72	118	797
R - 15	116	145	145	63	14	2	3	9	25	49	55	97	723
R - 16	118	148	147	64	14	2	3	9	25	50	56	99	736
R - 17	146	166	172	64	9	1	1	3	12	41	54	111	781
R - 18	144	138	146	62	20	4	8	14	39	58	75	123	831
R - 19	124	142	146	55	8	1	1	3	10	35	46	95	665
R - 20	137	157	162	60	8	1	1	3	11	39	50	105	736
R - 21	103	178	149	40	3	0	0	1	4	11	16	52	556
R - 22	64	110	92	25	2	0	0	1	2	7	10	32	343
R - 23	142	141	147	67	23	10	11	18	39	67	65	112	842
R - 24	105	127	120	42	8	3	2	5	15	32	44	87	590
R - 25	149	179	170	59	11	4	3	7	21	45	62	123	833
R - 26	132	158	151	52	10	4	3	7	19	40	55	109	737
R - 27	140	160	165	55	11	4	3	6	17	53	61	117	791
R - 28	90	118	129	35	2	0	0	1	3	14	21	65	478
R - 29	95	128	152	26	2	0	0	0	2	12	13	56	487
R - 30	27	48	33	13	0	0	0	0	0	0	1	10	133
R - 31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
R - 32	39	69	47	19	0	0	1	0	0	1	1	15	191
R - 33	0	1	0	0	1	1	2	2	2	1	1	1	11
R - 34	0	1	0	0	1	1	2	2	2	1	1	1	11
R - 35	0	1	0	0	1	1	2	2	2	1	1	1	11
R - 36	0	1	0	0	1	1	2	2	2	1	1	1	11
C - 01	133	143	148	61	15	3	3	8	25	58	59	108	764
C - 02	134	145	149	61	16	3	3	8	25	58	60	109	772
C - 03	129	139	143	59	15	3	3	8	24	56	57	105	741
C - 04	83	102	122	46	7	0	1	2	9	28	33	72	506
C - 05	146	183	192	52	4	0	0	1	7	25	32	87	730
C - 06	63	79	82	22	2	0	0	0	3	11	14	38	314
C - 07	47	57	61	16	3	0	0	0	2	7	9	24	225
C - 08	111	145	154	48	3	0	0	1	3	18	25	62	569
C - 09	1	0	2	0	1	1	1	1	3	2	1	1	15
C - 10	1	0	2	0	1	1	1	1	3	2	1	1	15
C - 11	1	0	2	0	1	1	1	1	3	2	1	1	15
C - 12	1	0	2	0	1	1	1	1	3	2	1	1	15
C - 13	1	0	2	0	1	1	1	1	3	2	1	1	15
C - 14	1	0	2	0	1	1	1	1	3	2	1	1	15
C - 15	1	0	2	0	1	1	1	1	3	2	1	1	15

“Continuación”

MICRO-CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
C - 16	1	0	2	0	1	1	1	1	3	2	1	1	15
L - 01	125	129	169	26	2	0	0	2	2	15	25	63	558
L - 02	114	118	154	24	1	0	0	2	2	13	23	58	509
L - 03	93	110	133	48	4	0	1	2	4	14	24	64	496
L - 04	93	131	124	28	1	0	0	0	2	9	13	42	443
L - 05	62	108	119	22	1	0	0	0	1	4	8	34	358
L - 06	63	95	94	20	1	0	0	0	1	5	8	30	318
L - 07	21	39	43	8	0	0	0	0	0	1	2	12	126
L - 08	12	22	15	6	0	0	0	0	0	0	0	5	61
L - 09	18	33	22	9	0	0	0	0	0	0	1	7	90
L - 10	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	14
L - 11	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	14
AM - 01	140	147	149	92	26	18	26	28	43	85	70	125	947
AM - 02	137	144	146	90	26	18	25	27	42	83	69	122	929
AM - 03	137	144	145	89	25	18	25	27	42	83	68	122	924
AM - 04	136	143	144	89	25	17	25	27	42	82	68	121	920
AM - 05	142	149	151	93	26	18	26	28	43	86	71	126	960
AM - 06	135	142	143	89	25	17	25	27	41	82	68	120	914
AM - 07	139	146	148	91	26	18	25	28	43	84	70	124	940
AM - 08	131	139	139	73	27	16	15	27	56	79	78	119	901
AM - 09	133	141	142	74	28	16	15	28	57	81	79	121	914
AM - 10	122	129	130	68	25	15	14	25	52	74	72	111	840
AM - 11	125	133	133	70	26	15	14	26	54	76	74	114	861
AM - 12	138	146	146	77	29	17	16	29	59	83	81	125	946
AM - 13	146	160	147	69	28	14	20	27	53	88	80	126	956
AM - 14	139	153	141	66	26	13	19	26	51	84	77	120	916
AM - 15	142	156	144	67	27	13	19	26	52	86	79	123	935
AM - 16	145	160	147	69	28	14	20	27	53	88	80	125	955
AM - 17	139	152	140	65	26	13	19	25	51	84	76	120	910
AM - 18	143	157	145	68	27	13	19	26	53	86	79	124	940
AM - 19	140	154	141	66	27	13	19	26	51	84	77	121	918
AM - 20	142	156	144	67	27	13	19	26	52	86	78	123	933
AM - 21	150	165	152	71	29	14	20	28	55	91	83	130	988
AM - 22	131	144	132	62	25	12	18	24	48	79	72	113	859
AM - 23	133	146	135	63	25	12	18	25	49	80	74	115	876
AM - 24	132	145	134	62	25	12	18	24	48	80	73	114	868
AM - 25	131	144	132	62	25	12	18	24	48	79	72	113	858
AM - 26	142	156	144	67	27	13	19	26	52	86	78	123	933
AM - 27	130	150	150	75	31	15	13	19	48	80	79	115	906
AM - 28	131	151	152	76	31	15	14	20	49	81	80	116	916
AM - 29	135	148	136	64	26	13	18	25	50	81	74	116	886
AM - 30	133	153	154	76	32	15	14	20	49	82	80	118	924
AM - 31	136	156	157	78	32	15	14	20	50	84	82	120	947
AM - 32	135	155	156	77	32	15	14	20	50	83	82	119	937
AM - 33	132	152	153	76	32	15	14	20	49	81	80	117	922
AM - 34	134	154	155	77	32	15	14	20	50	82	81	119	934
AM - 35	135	156	157	78	32	15	14	20	50	83	82	120	943
AM - 36	135	156	157	78	32	15	14	20	50	83	82	120	943
AM - 37	135	155	156	77	32	15	14	20	50	83	82	119	937
AM - 38	134	154	155	77	32	15	14	20	50	82	81	118	930
AM - 39	132	152	153	76	32	15	14	20	49	81	80	117	921
AM - 40	131	150	151	75	31	15	14	19	49	80	79	116	909
AM - 41	133	153	154	76	32	15	14	20	49	82	81	118	925
AM - 42	129	149	150	74	31	15	13	19	48	80	78	115	901
AM - 43	134	154	155	77	32	15	14	20	50	82	81	118	931

Tabla 39: Temperatura media mensual por microcuena (°C). Periodo 1965 – 2018

MICRO-CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
R - 01	5,0	4,7	4,9	5,7	5,8	6,0	5,8	6,1	6,5	6,6	6,3	5,8	5,8
R - 02	4,1	3,7	4,0	4,9	5,1	5,4	5,3	5,6	6,0	6,0	5,7	5,1	5,1
R - 03	4,3	3,9	4,2	5,0	5,2	5,5	5,4	5,7	6,1	6,1	5,8	5,2	5,2
R - 04	3,7	3,3	3,6	4,5	4,8	5,2	5,0	5,4	5,8	5,8	5,4	4,8	4,8
R - 05	4,5	4,1	4,4	5,2	5,4	5,7	5,5	5,8	6,2	6,3	5,9	5,4	5,4
R - 06	4,6	4,3	4,6	5,3	5,5	5,8	5,6	5,9	6,3	6,4	6,1	5,5	5,5
R - 07	5,8	5,6	5,8	6,4	6,5	6,5	6,4	6,6	7,0	7,1	6,9	6,5	6,4
R - 08	4,5	4,1	4,4	5,2	5,4	5,7	5,5	5,8	6,2	6,3	5,9	5,4	5,4
R - 09	4,3	4,0	4,2	5,0	5,3	5,6	5,4	5,7	6,1	6,2	5,8	5,2	5,2
R - 10	3,4	3,0	3,3	4,2	4,6	5,0	4,9	5,2	5,6	5,6	5,2	4,5	4,5
R - 11	4,4	4,1	4,3	5,1	5,4	5,6	5,5	5,8	6,2	6,2	5,9	5,3	5,3
R - 12	5,5	5,2	5,4	6,1	6,2	6,3	6,1	6,4	6,8	6,9	6,7	6,2	6,2
R - 13	4,8	4,4	4,7	5,5	5,6	5,8	5,7	6,0	6,4	6,4	6,1	5,6	5,6
R - 14	5,1	4,8	5,0	5,7	5,9	6,0	5,9	6,2	6,6	6,6	6,4	5,9	5,8
R - 15	6,5	6,4	6,6	7,1	7,0	7,0	6,8	7,1	7,5	7,6	7,4	7,1	7,0
R - 16	6,3	6,1	6,3	6,9	6,8	6,8	6,7	6,9	7,3	7,5	7,3	6,9	6,8
R - 17	5,6	5,3	5,6	6,2	6,3	6,4	6,2	6,5	6,9	7,0	6,7	6,3	6,2
R - 18	4,4	4,1	4,3	5,1	5,4	5,6	5,5	5,8	6,2	6,2	5,9	5,3	5,3
R - 19	7,7	7,6	7,8	8,2	7,9	7,8	7,5	7,8	8,2	8,4	8,3	8,1	7,9
R - 20	6,4	6,2	6,4	7,0	6,9	6,9	6,7	7,0	7,4	7,5	7,3	7,0	6,9
R - 21	9,7	9,8	9,9	10,1	9,5	9,1	8,8	9,0	9,4	9,7	9,8	9,9	9,5
R - 22	13,7	14,0	14,1	13,7	12,5	11,6	11,3	11,3	11,7	12,2	12,6	13,2	12,7
R - 23	4,2	3,9	4,1	5,0	5,2	5,5	5,3	5,7	6,1	6,1	5,7	5,2	5,2
R - 24	9,0	9,0	9,1	9,4	8,9	8,6	8,3	8,5	8,9	9,2	9,2	9,2	8,9
R - 25	4,4	4,1	4,4	5,2	5,4	5,6	5,5	5,8	6,2	6,2	5,9	5,4	5,3
R - 26	6,2	6,0	6,2	6,8	6,8	6,8	6,6	6,9	7,3	7,4	7,2	6,9	6,8
R - 27	5,3	5,0	5,3	6,0	6,0	6,2	6,0	6,3	6,7	6,8	6,5	6,1	6,0
R - 28	11,2	11,3	11,4	11,4	10,6	10,0	9,7	9,8	10,2	10,6	10,8	11,1	10,7
R - 29	11,0	11,2	11,3	11,3	10,5	9,9	9,6	9,8	10,2	10,5	10,7	11,0	10,6
R - 30	17,5	18,2	18,1	17,3	15,5	14,1	13,7	13,6	14,0	14,7	15,4	16,5	15,7
R - 31	20,9	21,8	21,7	20,4	18,2	16,4	15,8	15,7	16,1	17,0	17,9	19,4	18,4
R - 32	16,4	17,0	16,9	16,2	14,7	13,4	13,0	13,0	13,4	14,0	14,6	15,5	14,8
R - 33	22,8	23,9	23,7	22,2	19,7	17,6	17,0	16,8	17,2	18,2	19,3	21,0	20,0
R - 34	21,8	22,8	22,6	21,2	18,9	16,9	16,4	16,2	16,6	17,5	18,5	20,1	19,1
R - 35	23,1	24,2	24,0	22,5	19,9	17,8	17,2	17,0	17,4	18,4	19,5	21,2	20,2
R - 36	22,8	23,9	23,7	22,2	19,6	17,6	17,0	16,8	17,2	18,2	19,2	21,0	19,9
C - 01	5,5	5,2	5,4	6,1	6,2	6,3	6,1	6,4	6,8	6,9	6,7	6,2	6,2
C - 02	5,3	5,1	5,3	6,0	6,1	6,2	6,1	6,3	6,7	6,8	6,6	6,1	6,1
C - 03	5,9	5,6	5,9	6,5	6,5	6,6	6,4	6,7	7,0	7,2	6,9	6,6	6,5
C - 04	7,3	7,1	7,3	7,8	7,6	7,5	7,3	7,5	7,9	8,1	8,0	7,8	7,6
C - 05	6,1	5,9	6,1	6,7	6,7	6,7	6,5	6,8	7,2	7,3	7,1	6,8	6,6
C - 06	13,0	13,4	13,4	13,1	12,0	11,2	10,9	11,0	11,4	11,8	12,2	12,7	12,2
C - 07	14,5	14,9	14,9	14,5	13,2	12,2	11,8	11,8	12,2	12,8	13,2	13,9	13,3
C - 08	8,8	8,8	8,9	9,2	8,8	8,5	8,2	8,4	8,8	9,1	9,1	9,1	8,8
C - 09	16,8	17,4	17,4	16,6	15,0	13,7	13,2	13,2	13,6	14,3	14,9	15,9	15,2
C - 10	19,7	20,5	20,4	19,3	17,2	15,6	15,0	15,0	15,4	16,2	17,0	18,3	17,5
C - 11	15,5	16,0	16,0	15,4	14,0	12,8	12,4	12,4	12,8	13,4	13,9	14,8	14,1
C - 12	19,6	20,4	20,3	19,2	17,1	15,5	15,0	14,9	15,3	16,1	16,9	18,2	17,4
C - 13	19,8	20,7	20,5	19,4	17,3	15,7	15,1	15,0	15,4	16,3	17,1	18,5	17,6
C - 14	18,3	19,0	18,9	18,0	16,1	14,6	14,1	14,1	14,5	15,2	15,9	17,1	16,3
C - 15	21,6	22,6	22,4	21,0	18,7	16,8	16,2	16,1	16,5	17,4	18,4	20,0	19,0
C - 16	22,6	23,6	23,4	22,0	19,5	17,4	16,8	16,7	17,1	18,0	19,1	20,8	19,8
L - 01	5,5	5,3	5,5	6,2	6,2	6,4	6,2	6,5	6,9	7,0	6,7	6,3	6,2

“Continuación”

MICRO-CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
L - 02	6,9	6,7	6,9	7,4	7,3	7,2	7,0	7,2	7,6	7,8	7,7	7,4	7,3
L - 03	7,2	7,0	7,2	7,7	7,5	7,4	7,2	7,4	7,8	8,0	7,9	7,7	7,5
L - 04	8,7	8,7	8,8	9,1	8,7	8,4	8,2	8,3	8,7	9,0	9,0	9,0	8,7
L - 05	10,9	11,0	11,1	11,1	10,4	9,8	9,5	9,7	10,1	10,4	10,6	10,8	10,5
L - 06	11,9	12,2	12,2	12,1	11,2	10,5	10,2	10,3	10,7	11,1	11,4	11,7	11,3
L - 07	17,0	17,6	17,5	16,8	15,1	13,8	13,3	13,3	13,7	14,4	15,0	16,0	15,3
L - 08	18,8	19,5	19,4	18,4	16,5	14,9	14,4	14,4	14,8	15,5	16,3	17,5	16,7
L - 09	18,0	18,7	18,6	17,7	15,9	14,4	14,0	13,9	14,3	15,0	15,7	16,9	16,1
L - 10	21,8	22,8	22,6	21,3	18,9	16,9	16,4	16,2	16,6	17,5	18,5	20,1	19,1
L - 11	22,5	23,5	23,3	21,9	19,4	17,4	16,8	16,6	17,0	18,0	19,0	20,7	19,7
AM - 01	4,7	4,4	4,6	5,4	5,6	5,8	5,7	6,0	6,3	6,4	6,1	5,6	5,5
AM - 02	5,0	4,7	5,0	5,7	5,8	6,0	5,9	6,1	6,5	6,6	6,3	5,9	5,8
AM - 03	5,1	4,8	5,1	5,8	5,9	6,1	5,9	6,2	6,6	6,7	6,4	5,9	5,9
AM - 04	5,2	4,9	5,1	5,8	6,0	6,1	6,0	6,2	6,6	6,7	6,4	6,0	5,9
AM - 05	4,5	4,1	4,4	5,2	5,4	5,7	5,5	5,8	6,2	6,3	5,9	5,4	5,4
AM - 06	5,3	5,0	5,2	5,9	6,0	6,2	6,0	6,3	6,7	6,8	6,5	6,1	6,0
AM - 07	4,8	4,5	4,8	5,5	5,7	5,9	5,7	6,0	6,4	6,5	6,2	5,7	5,6
AM - 08	5,4	5,1	5,4	6,0	6,1	6,3	6,1	6,4	6,8	6,9	6,6	6,2	6,1
AM - 09	5,1	4,9	5,1	5,8	5,9	6,1	5,9	6,2	6,6	6,7	6,4	6,0	5,9
AM - 10	6,5	6,3	6,5	7,1	7,0	7,0	6,8	7,0	7,4	7,6	7,4	7,1	7,0
AM - 11	6,1	5,9	6,1	6,7	6,7	6,7	6,5	6,8	7,2	7,3	7,1	6,8	6,7
AM - 12	4,6	4,3	4,5	5,3	5,5	5,7	5,6	5,9	6,3	6,3	6,0	5,5	5,5
AM - 13	4,5	4,2	4,4	5,2	5,5	5,7	5,5	5,8	6,2	6,3	6,0	5,4	5,4
AM - 14	5,2	5,0	5,2	5,9	6,0	6,2	6,0	6,3	6,7	6,8	6,5	6,0	6,0
AM - 15	4,9	4,6	4,8	5,6	5,7	5,9	5,8	6,1	6,5	6,5	6,2	5,7	5,7
AM - 16	4,6	4,2	4,5	5,3	5,5	5,7	5,6	5,9	6,3	6,3	6,0	5,5	5,4
AM - 17	5,3	5,1	5,3	6,0	6,1	6,2	6,1	6,3	6,7	6,8	6,6	6,1	6,1
AM - 18	4,8	4,5	4,7	5,5	5,7	5,9	5,7	6,0	6,4	6,5	6,2	5,7	5,6
AM - 19	5,2	4,9	5,2	5,9	6,0	6,1	6,0	6,3	6,7	6,7	6,5	6,0	5,9
AM - 20	4,9	4,6	4,9	5,6	5,8	6,0	5,8	6,1	6,5	6,6	6,3	5,8	5,7
AM - 21	4,0	3,6	3,8	4,7	5,0	5,3	5,2	5,5	5,9	5,9	5,6	4,9	5,0
AM - 22	6,2	6,1	6,3	6,8	6,8	6,8	6,6	6,9	7,3	7,4	7,2	6,9	6,8
AM - 23	6,0	5,7	6,0	6,6	6,6	6,6	6,4	6,7	7,1	7,2	7,0	6,7	6,6
AM - 24	6,1	5,9	6,1	6,7	6,7	6,7	6,5	6,8	7,2	7,3	7,1	6,8	6,7
AM - 25	6,3	6,1	6,3	6,9	6,8	6,8	6,6	6,9	7,3	7,4	7,2	6,9	6,8
AM - 26	4,9	4,6	4,9	5,6	5,8	6,0	5,8	6,1	6,5	6,6	6,3	5,8	5,7
AM - 27	5,4	5,2	5,4	6,1	6,1	6,3	6,1	6,4	6,8	6,9	6,6	6,2	6,1
AM - 28	5,2	5,0	5,2	5,9	6,0	6,2	6,0	6,3	6,7	6,8	6,5	6,1	6,0
AM - 29	5,8	5,5	5,8	6,4	6,4	6,5	6,3	6,6	7,0	7,1	6,9	6,5	6,4
AM - 30	5,1	4,8	5,0	5,8	5,9	6,1	5,9	6,2	6,6	6,7	6,4	5,9	5,9
AM - 31	4,7	4,4	4,6	5,4	5,6	5,8	5,7	6,0	6,3	6,4	6,1	5,6	5,5
AM - 32	4,9	4,6	4,8	5,6	5,7	5,9	5,8	6,1	6,5	6,5	6,2	5,7	5,7
AM - 33	5,1	4,9	5,1	5,8	5,9	6,1	5,9	6,2	6,6	6,7	6,4	6,0	5,9
AM - 34	4,9	4,6	4,9	5,6	5,8	6,0	5,8	6,1	6,5	6,6	6,3	5,8	5,7
AM - 35	4,8	4,5	4,7	5,5	5,6	5,9	5,7	6,0	6,4	6,5	6,2	5,6	5,6
AM - 36	4,8	4,5	4,7	5,5	5,6	5,8	5,7	6,0	6,4	6,5	6,2	5,6	5,6
AM - 37	4,9	4,6	4,8	5,6	5,7	5,9	5,8	6,1	6,5	6,5	6,2	5,7	5,7
AM - 38	5,0	4,7	4,9	5,7	5,8	6,0	5,8	6,1	6,5	6,6	6,3	5,8	5,8
AM - 39	5,2	4,9	5,1	5,8	5,9	6,1	5,9	6,2	6,6	6,7	6,4	6,0	5,9
AM - 40	5,4	5,1	5,3	6,0	6,1	6,2	6,1	6,4	6,7	6,8	6,6	6,1	6,1
AM - 41	5,1	4,8	5,0	5,8	5,9	6,1	5,9	6,2	6,6	6,7	6,4	5,9	5,9
AM - 42	5,5	5,3	5,5	6,2	6,2	6,3	6,2	6,4	6,8	6,9	6,7	6,3	6,2
AM - 43	5,0	4,7	4,9	5,7	5,8	6,0	5,8	6,1	6,5	6,6	6,3	5,8	5,8

ANEXO 4: CORRELACIÓN ENTRE CAUDALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

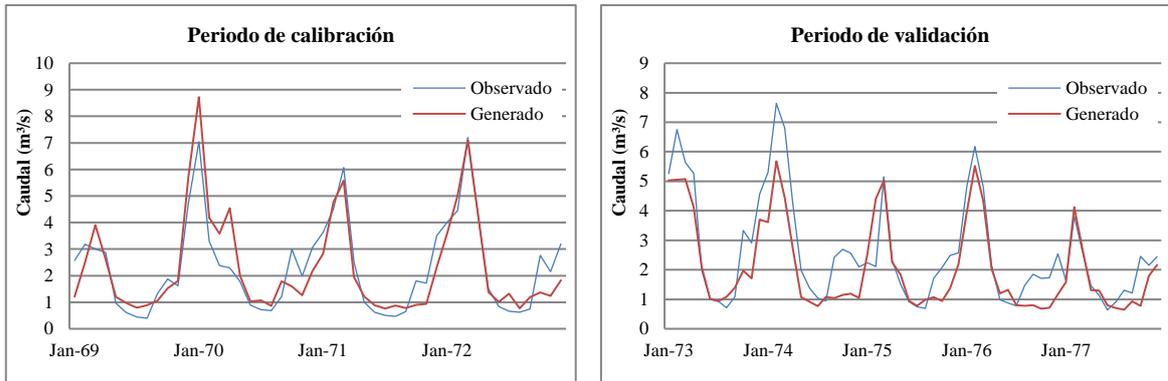


Figura 66: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Pariacancha – cuenca Chillón

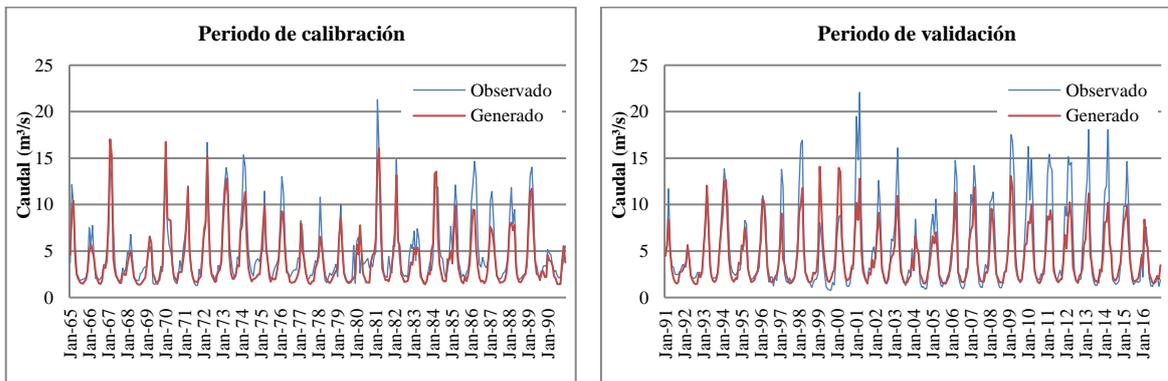


Figura 67: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Obrajillo – cuenca Chillón

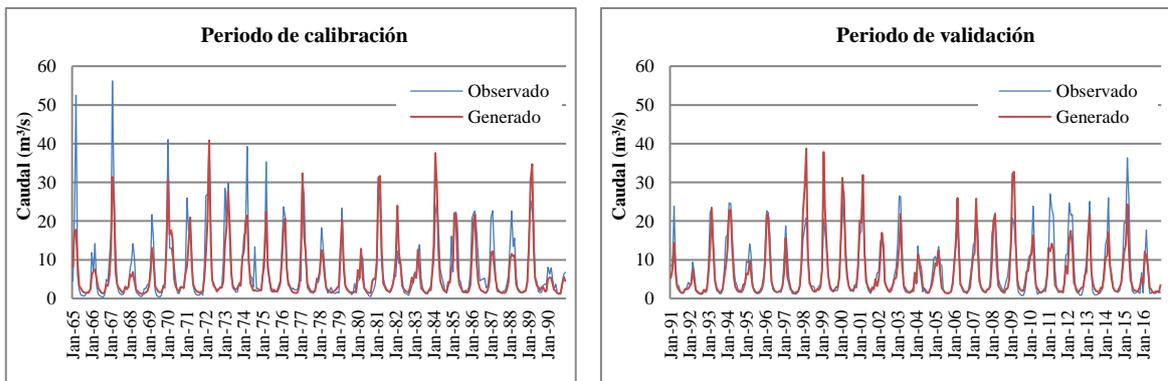


Figura 68: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Puente Magdalena – cuenca Chillón

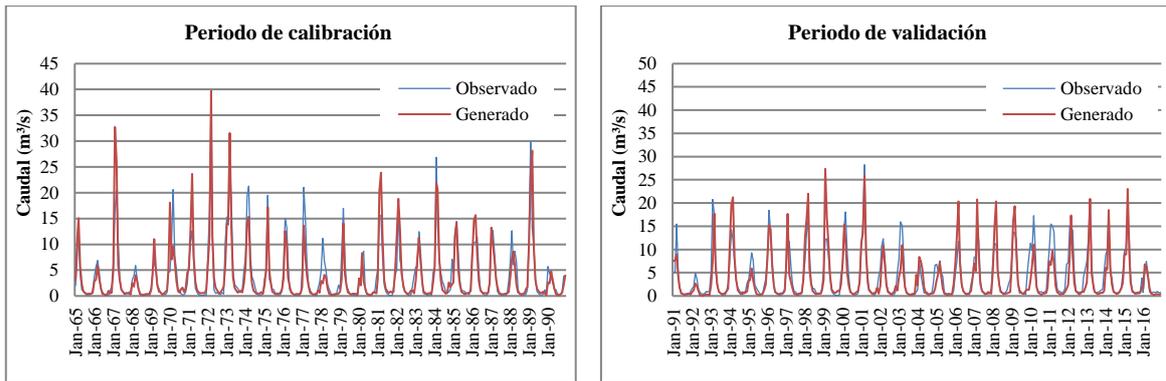


Figura 69: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Manchay – cuenca Lurín

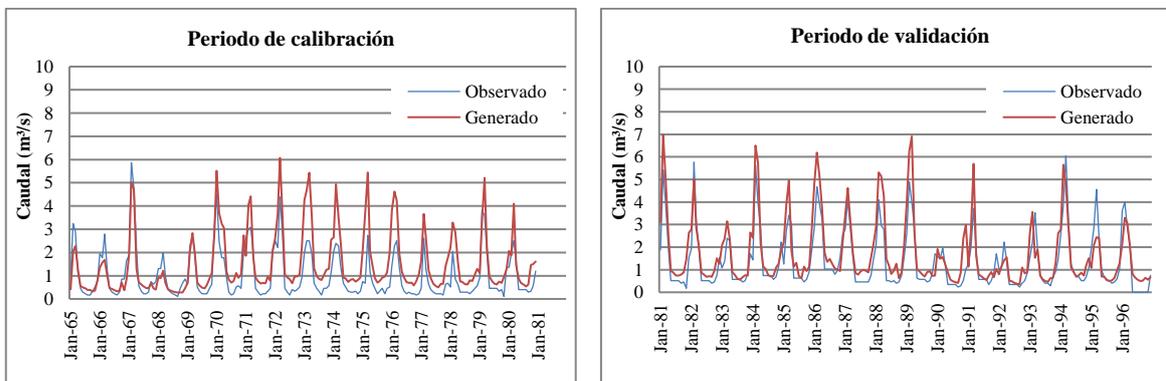


Figura 70: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Yuracmayo – cuenca Rímac

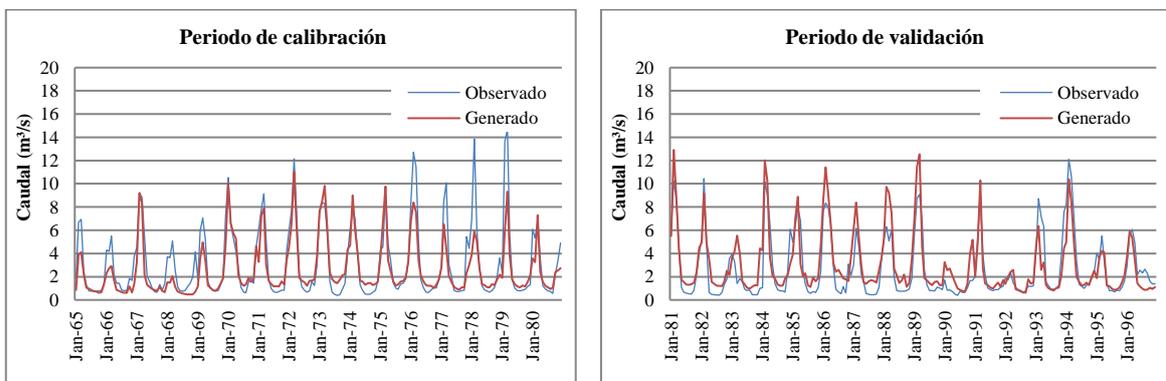


Figura 71: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Río Blanco – cuenca Rímac

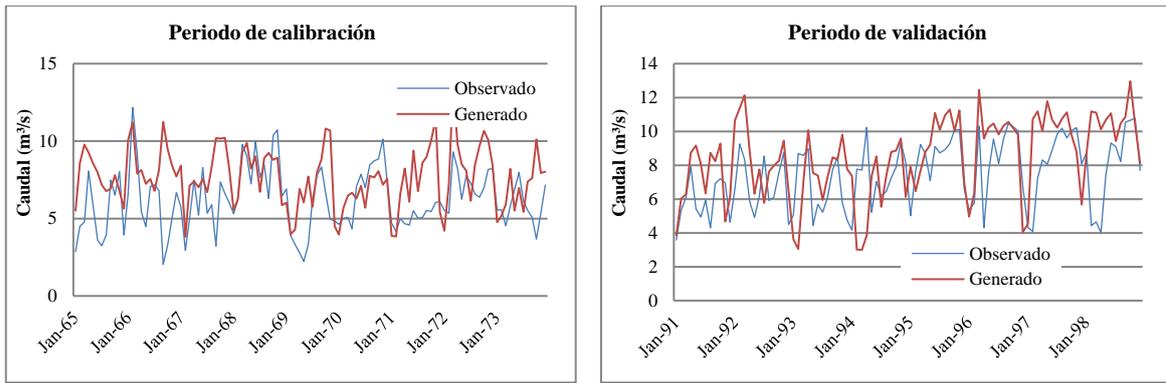


Figura 72: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Milloc – cuenca Rímac

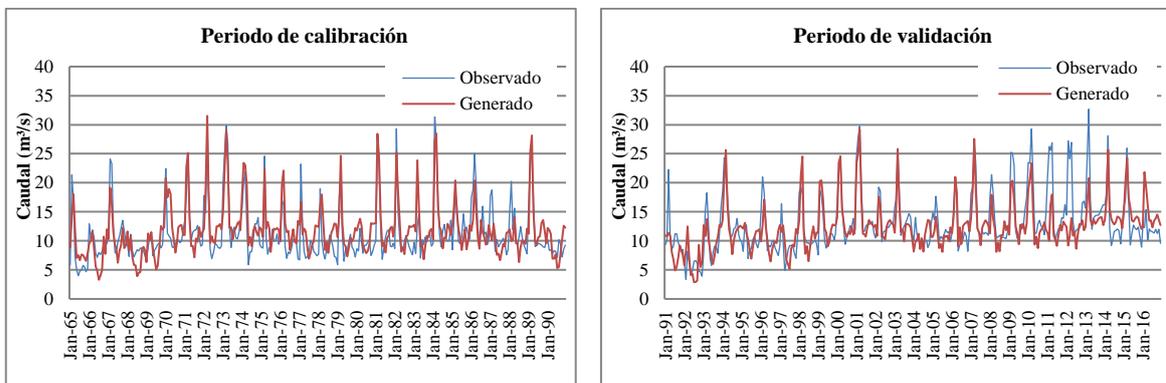


Figura 73: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Sheque – cuenca Rímac

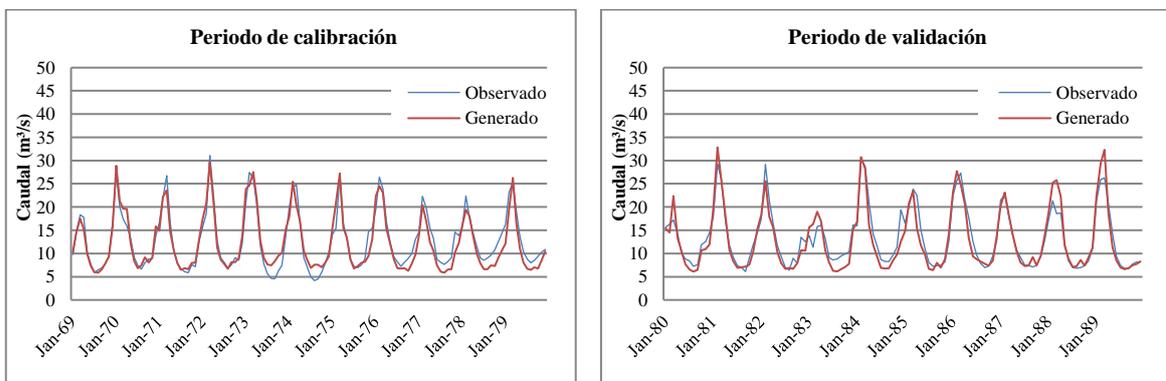


Figura 74: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación San Mateo – cuenca Rímac

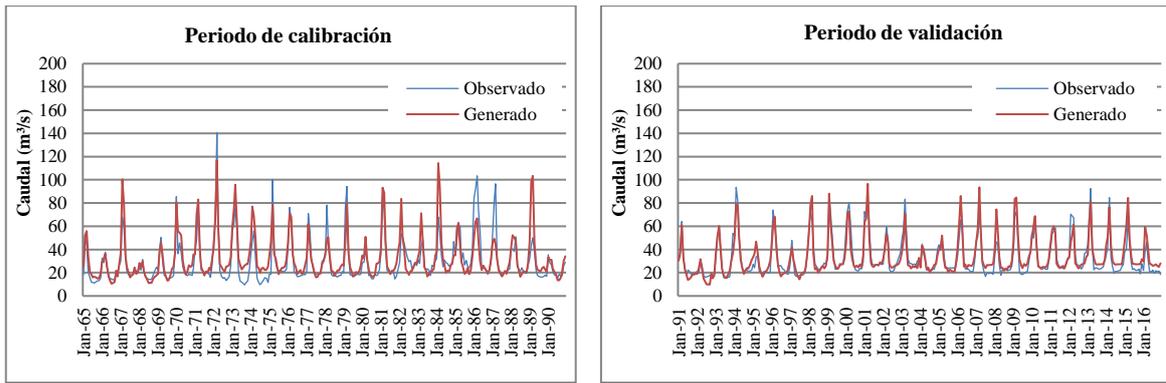


Figura 75: Comparación entre caudales mensuales observados y simulados en la estación Chosica – cuenca Rímac

ANEXO 5: CAUDALES NATURALES EN LAS CUENCAS CHILLÓN, RÍMAC Y LURÍN

Tabla 40: Caudales naturales calculados E.H. Puente Magdalena (m³/s) – cuenca Chillón

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
1965	9,6	21,6	22,1	13,0	5,3	3,6	2,4	1,7	1,3	1,1	0,8	1,9	7,0
1966	5,5	7,6	8,6	5,9	3,3	2,1	1,4	1,0	1,3	3,5	3,4	7,2	4,2
1967	15,1	38,4	31,3	10,6	5,9	3,9	2,9	1,9	1,6	3,2	2,5	3,0	10,0
1968	7,0	6,3	7,8	4,7	2,5	1,8	1,2	0,9	0,7	0,7	0,8	1,4	3,0
1969	2,6	7,3	15,8	12,6	4,9	3,2	2,1	1,7	1,6	2,9	3,8	15,6	6,2
1970	38,0	23,7	24,0	20,8	8,1	4,7	3,3	2,2	3,3	3,2	2,7	7,5	11,8
1971	9,7	17,6	25,8	11,6	5,7	3,6	2,4	1,9	1,4	1,4	1,3	5,4	7,3
1972	13,7	26,4	51,4	19,9	8,4	5,2	3,9	2,4	2,6	2,8	2,6	4,5	12,0
1973	15,1	21,7	34,6	25,0	10,2	5,5	3,7	2,9	3,2	3,9	3,4	12,0	11,8
1974	14,3	23,8	26,9	14,2	6,3	4,1	2,7	2,4	2,1	1,8	1,7	1,9	8,5
1975	6,7	14,3	27,6	11,3	7,1	3,9	2,6	2,6	2,0	1,5	2,0	3,8	7,1
1976	10,0	21,1	26,6	10,8	5,4	4,0	2,5	1,8	1,4	1,0	0,8	3,0	7,4
1977	14,2	39,0	20,9	17,3	6,4	4,0	2,6	1,8	1,7	1,6	4,1	5,3	9,9
1978	7,8	15,1	13,5	7,2	3,7	2,5	1,9	1,4	1,5	1,6	1,7	2,5	5,0
1979	2,6	15,1	25,5	12,3	5,3	3,5	2,3	1,7	1,4	1,2	1,2	1,6	6,1
1980	7,5	5,9	15,8	7,1	3,6	2,6	1,7	1,4	1,0	4,9	5,9	5,7	5,2
1981	11,4	39,1	39,7	17,7	6,8	4,6	3,0	2,4	1,7	2,5	3,7	5,9	11,5
1982	11,8	29,1	15,9	11,2	4,8	3,3	2,3	1,8	1,5	3,3	6,4	4,9	8,0
1983	6,7	6,4	15,3	8,9	3,7	2,6	1,7	1,2	1,3	1,9	1,6	8,7	5,0
1984	18,1	49,5	36,3	16,6	7,7	5,1	3,2	2,3	1,9	4,4	4,2	9,9	13,3
1985	13,5	30,3	28,8	11,7	5,9	4,0	2,6	1,8	2,0	1,2	1,4	3,2	8,9
1986	13,6	25,7	28,9	13,9	6,6	4,0	2,7	2,2	1,4	1,1	1,7	4,2	8,8
1987	12,9	14,7	11,6	6,5	3,4	2,3	1,6	1,3	1,2	1,1	1,6	3,9	5,2
1988	10,9	14,0	13,7	14,1	5,5	3,3	2,2	1,6	1,6	1,6	1,5	4,3	6,2
1989	15,0	38,8	45,2	17,1	8,6	5,2	4,0	2,6	3,3	3,2	1,7	1,5	12,2
1990	4,4	5,9	5,9	3,5	2,2	1,7	1,1	0,8	0,7	3,4	5,6	5,2	3,4
1991	5,4	8,4	17,2	8,1	4,4	2,8	1,9	1,3	1,2	2,2	1,9	2,2	4,8
1992	2,4	3,2	8,2	4,7	2,3	1,7	1,2	0,8	0,7	1,9	1,1	1,9	2,5
1993	6,5	14,7	28,2	17,1	7,2	4,3	2,8	1,9	1,8	2,4	5,7	9,2	8,5
1994	14,3	27,7	29,7	17,2	8,5	4,8	3,1	2,2	2,2	1,5	3,4	3,9	9,9
1995	6,5	6,9	11,4	8,2	4,1	2,7	1,7	1,4	1,4	2,0	2,9	6,1	4,6
1996	10,6	26,9	26,7	15,7	6,7	4,1	2,7	1,9	1,7	1,7	1,5	2,9	8,6
1997	6,7	18,7	7,5	4,9	2,9	2,0	1,4	1,1	1,5	1,5	3,0	11,3	5,2
1998	28,1	37,8	51,2	16,9	7,2	4,9	3,2	2,2	1,9	2,4	1,9	2,9	13,4
1999	7,5	46,5	31,0	20,2	9,4	5,3	3,4	2,4	2,5	3,2	2,9	6,0	11,7
2000	16,3	39,1	33,1	16,0	8,8	4,9	3,2	2,7	2,5	3,7	3,4	9,9	12,0
2001	24,3	25,9	41,2	17,7	7,3	4,7	3,3	2,2	3,2	2,5	5,3	3,3	11,7
2002	4,6	11,2	20,8	18,1	6,6	4,4	2,8	1,9	2,1	3,8	5,5	5,8	7,3
2003	10,1	16,6	27,9	12,3	5,5	3,7	2,5	1,8	1,4	1,8	1,4	7,8	7,7
2004	4,4	13,4	12,0	9,8	4,1	2,9	1,9	1,3	1,5	2,3	3,6	6,9	5,3
2005	10,3	10,3	15,5	8,7	3,9	2,7	1,8	1,3	1,0	1,0	1,0	4,0	5,1
2006	9,7	19,1	33,1	17,9	6,3	4,4	2,8	2,0	1,7	1,8	2,5	8,0	9,1
2007	13,0	14,5	32,2	17,3	7,1	4,4	2,9	2,1	1,6	2,3	2,0	2,9	8,5
2008	10,3	24,9	29,3	12,4	5,4	3,7	2,5	1,8	1,4	2,3	2,3	5,1	8,4
2009	17,2	40,9	43,4	20,7	8,3	5,1	3,4	2,5	2,2	4,2	7,8	8,6	13,7
2010	11,7	14,1	20,1	10,4	4,7	3,2	2,2	1,5	1,6	1,9	2,6	6,6	6,7
2011	14,7	14,9	17,3	16,1	5,5	3,7	2,6	1,8	1,7	1,3	3,4	9,4	7,7
2012	7,2	18,3	20,7	17,0	6,2	4,1	2,6	1,9	2,4	2,9	2,9	6,2	7,7
2013	6,8	18,7	27,1	10,2	6,2	3,7	2,5	2,0	1,4	2,6	2,4	5,6	7,4
2014	11,5	13,0	20,8	11,6	6,9	3,7	2,6	2,0	2,1	2,9	4,1	8,3	7,4
2015	13,8	17,2	31,5	16,5	7,3	4,8	2,9	2,5	2,0	2,0	3,0	5,8	9,1
2016	3,9	13,6	13,7	10,5	4,3	2,9	2,0	1,4	1,7	1,6	0,9	3,2	5,0
2017	8,6	18,1	32,5	17,7	6,3	4,3	2,8	2,0	1,7	1,8	2,5	8,0	8,9
2018	20,3	43,5	44,6	21,1	8,5	5,2	3,5	2,6	2,2	4,3	7,9	8,6	14,3
Prom.	11,2	21,0	24,9	13,3	5,9	3,8	2,5	1,9	1,8	2,3	2,9	5,6	8,1

Tabla 41: Caudales naturales calculados en E.H. Chosica (m³/s) – cuenca Rímac

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
1965	21,4	48,5	48,2	29,2	16,9	13,3	11,6	10,3	10,1	9,5	10,4	15,1	20,4
1966	25,4	27,7	30,6	21,6	14,0	11,1	9,3	9,1	9,3	15,7	12,2	21,3	17,3
1967	37,3	101,9	77,3	28,6	19,7	14,6	12,4	11,9	12,2	17,2	13,4	14,0	30,0
1968	22,9	20,8	23,9	17,8	13,6	10,6	8,8	8,5	8,2	8,5	9,7	11,9	13,8
1969	15,7	31,3	46,0	31,2	16,6	12,5	10,5	10,0	11,4	15,1	18,1	38,6	21,4
1970	84,1	49,8	47,9	46,0	23,8	15,7	13,1	13,9	19,5	16,8	17,6	36,5	32,0
1971	34,2	66,0	75,1	32,9	20,1	15,5	12,9	13,1	12,7	15,6	14,5	30,2	28,6
1972	42,8	64,6	110,1	52,0	22,4	18,0	16,3	13,5	16,8	17,9	17,6	31,3	35,3
1973	63,3	71,4	88,2	56,8	26,5	18,8	16,2	15,7	18,6	21,2	21,0	36,9	37,9
1974	44,1	69,9	59,4	42,0	20,5	17,1	14,1	15,1	15,3	13,8	15,0	17,1	28,6
1975	31,2	48,1	74,2	30,8	26,4	16,6	13,1	13,9	15,7	16,0	18,0	26,7	27,5
1976	49,4	67,4	62,1	29,9	22,0	16,4	13,1	12,6	12,8	11,2	13,4	17,6	27,3
1977	27,1	60,8	42,8	26,1	19,3	13,6	11,3	10,5	12,1	11,9	23,7	24,3	23,6
1978	32,1	45,4	42,7	26,8	16,7	14,0	12,0	11,8	13,8	13,4	16,4	19,2	22,0
1979	20,1	44,5	74,0	33,1	19,3	14,4	12,2	11,6	12,9	12,3	15,0	18,7	24,0
1980	32,5	26,2	50,6	24,0	17,8	13,2	11,3	10,4	11,1	21,5	21,5	21,9	21,9
1981	40,6	89,3	82,6	42,8	20,2	16,1	13,5	14,0	13,8	15,0	22,6	38,6	34,1
1982	45,7	77,9	43,3	34,8	18,5	15,1	13,4	13,5	13,0	17,3	24,6	20,4	28,1
1983	29,5	34,4	59,9	41,9	19,8	15,4	12,2	11,4	12,8	13,7	14,9	33,1	24,9
1984	38,4	111,4	83,9	37,8	24,1	19,4	14,2	13,4	13,3	17,6	21,9	34,2	35,8
1985	29,2	55,3	55,7	36,8	22,2	17,6	13,0	12,4	15,2	12,2	15,2	26,4	25,9
1986	48,4	64,3	60,8	42,9	24,2	16,7	16,4	14,7	14,0	12,8	15,0	25,1	29,6
1987	44,6	49,7	39,6	25,6	17,5	14,0	12,5	12,3	15,5	12,6	17,6	22,6	23,7
1988	37,5	52,5	50,4	43,1	20,6	15,1	12,3	12,1	14,5	12,9	14,7	20,9	25,5
1989	49,2	93,6	96,8	40,4	21,8	16,7	14,6	12,9	14,2	16,6	13,8	13,6	33,7
1990	27,4	24,0	25,0	20,2	17,2	13,6	10,4	9,8	10,5	14,5	25,3	29,0	18,9
1991	25,9	36,1	61,5	27,9	17,8	13,6	11,1	10,8	11,4	12,8	13,0	14,6	21,4
1992	16,6	19,9	24,2	19,7	13,0	10,4	8,7	8,6	8,2	13,9	12,1	14,6	14,2
1993	33,2	52,0	59,3	38,2	18,7	13,3	11,6	10,8	12,0	15,0	23,3	35,5	26,9
1994	53,3	73,9	70,7	45,9	25,8	17,9	14,1	14,2	16,5	16,6	20,7	30,6	33,4
1995	33,6	35,8	47,7	35,6	20,3	14,8	12,1	11,5	13,0	14,5	18,2	26,4	23,6
1996	41,9	63,4	65,7	36,4	21,7	15,2	12,8	12,0	12,7	13,3	14,4	18,3	27,3
1997	28,1	46,0	24,9	20,4	15,7	11,7	10,2	11,8	13,2	13,9	16,6	39,9	21,0
1998	59,0	78,1	84,8	34,7	19,1	16,1	12,9	12,6	14,3	16,2	16,1	18,7	31,9
1999	34,6	94,2	60,7	44,3	26,0	17,1	14,0	13,0	15,1	17,5	20,3	32,1	32,4
2000	52,9	75,7	66,9	33,7	25,4	16,2	14,2	14,4	13,8	18,9	16,8	41,8	32,5
2001	67,3	63,7	92,7	42,2	22,8	17,3	15,2	13,3	17,3	15,1	26,2	22,3	34,6
2002	28,1	44,5	54,7	40,6	22,0	15,9	13,5	12,2	14,0	16,9	23,3	28,0	26,2
2003	40,2	50,9	63,9	36,7	19,4	15,1	13,0	11,8	11,7	14,6	12,9	33,4	27,0
2004	21,4	46,4	42,5	30,7	17,9	15,3	11,7	10,9	12,9	16,9	21,9	40,4	24,1
2005	42,7	41,4	52,3	28,3	17,4	13,8	11,5	10,9	10,9	10,7	12,0	25,1	23,1
2006	43,7	65,8	91,2	55,3	20,6	16,9	13,4	13,6	13,8	15,1	20,5	35,9	33,8
2007	49,3	59,2	86,5	51,4	24,7	17,3	14,1	13,1	13,7	15,8	16,2	21,7	31,9
2008	44,5	79,6	58,5	30,2	18,6	15,2	12,6	12,1	11,5	14,3	15,2	24,8	28,1
2009	50,4	89,3	88,2	49,9	24,5	17,2	14,7	14,0	13,9	22,2	37,6	39,0	38,4
2010	47,4	54,3	59,5	35,9	19,7	16,2	13,2	12,4	12,9	14,2	17,7	34,0	28,1
2011	51,2	63,8	60,4	47,1	21,5	16,1	14,0	12,6	13,8	12,7	19,0	31,3	30,3
2012	29,4	53,4	60,7	62,5	22,0	16,8	14,0	12,6	16,9	18,7	23,1	34,6	30,4
2013	35,0	67,5	75,7	34,3	26,4	17,5	14,7	14,2	14,0	17,2	18,6	30,4	30,5
2014	44,6	48,5	69,2	36,3	21,9	15,9	14,5	15,8	16,4	19,1	21,3	37,4	30,1
2015	49,4	53,2	75,6	40,8	24,4	17,9	14,1	15,1	15,3	16,3	20,9	30,7	31,1
2016	23,7	54,1	47,0	35,4	19,1	15,3	12,7	11,5	15,6	14,0	12,1	23,0	23,6
2017	41,0	63,0	90,1	55,2	20,8	17,1	13,5	13,8	14,0	15,2	20,7	36,0	33,4
2018	59,9	97,0	92,1	51,6	25,5	18,0	15,4	14,7	14,5	22,8	38,2	39,5	40,8
Prom	39,3	58,7	62,6	37,0	20,6	15,5	12,9	12,5	13,6	15,3	18,4	27,5	27,8

Tabla 42: Caudales naturales calculados en Puente Manchay (m³/s) – cuenca Lurín

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
1965	4,0	13,1	17,6	7,7	3,6	2,4	1,5	1,0	0,7	0,5	0,4	0,8	4,5
1966	2,9	3,7	6,8	3,8	2,0	1,3	0,9	0,6	0,5	1,1	0,6	0,9	2,1
1967	6,7	36,1	31,0	9,4	5,1	3,3	2,1	1,4	1,0	0,7	0,5	0,5	8,1
1968	2,5	2,0	4,4	2,8	1,5	1,0	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4
1969	1,0	4,4	12,2	6,5	2,8	2,1	1,5	0,9	0,6	0,9	1,3	5,5	3,3
1970	20,2	10,1	12,0	8,2	4,3	2,5	1,6	2,3	2,2	1,1	1,8	5,4	6,0
1971	6,2	15,0	26,9	10,5	4,8	3,1	2,0	1,4	0,9	0,7	0,5	1,6	6,1
1972	6,7	13,4	43,8	15,9	6,2	4,1	2,6	1,7	1,2	1,4	2,2	6,9	8,8
1973	15,9	18,0	35,8	16,7	6,4	4,1	2,6	1,7	1,4	1,3	0,9	3,0	9,0
1974	6,5	16,4	18,2	7,9	3,8	2,6	1,7	1,1	0,8	0,5	0,8	0,7	5,1
1975	2,0	6,0	19,1	6,6	3,5	2,3	1,5	1,0	0,7	0,5	0,6	1,5	3,8
1976	3,5	14,1	12,3	4,8	2,8	1,9	1,2	0,8	0,6	0,4	0,3	0,8	3,6
1977	1,7	15,0	9,8	4,8	2,5	1,7	1,1	0,7	0,5	0,4	1,1	1,0	3,4
1978	3,0	2,9	4,6	3,6	1,7	1,1	0,8	0,5	0,4	0,3	0,2	0,6	1,6
1979	0,6	3,5	15,4	5,5	2,9	1,9	1,3	0,9	0,6	0,4	0,4	0,4	2,8
1980	3,5	2,5	9,1	3,4	1,9	1,3	0,9	0,6	0,4	0,7	0,7	0,7	2,1
1981	3,4	22,5	27,6	14,3	5,4	3,5	2,2	1,5	1,3	0,8	1,0	5,7	7,4
1982	13,1	22,1	16,3	6,3	3,5	2,4	1,5	1,1	0,8	1,2	1,3	0,9	5,9
1983	3,0	8,4	13,1	8,1	4,1	2,4	1,5	1,0	0,7	0,6	0,5	3,1	3,9
1984	6,5	24,4	24,4	10,2	4,9	3,2	2,0	1,4	0,9	3,0	2,4	3,1	7,2
1985	3,0	13,0	16,7	6,9	3,4	2,3	1,5	1,0	0,7	0,6	0,6	1,3	4,3
1986	8,7	17,1	18,6	10,3	4,7	2,9	1,9	1,4	0,9	0,6	0,6	3,1	5,9
1987	14,7	12,7	9,0	4,1	2,4	1,6	1,1	0,8	0,6	0,4	0,4	0,9	4,1
1988	3,8	8,3	10,0	6,8	3,0	1,9	1,3	0,9	0,6	0,5	1,5	2,3	3,4
1989	11,1	26,2	32,6	13,2	5,6	3,6	2,3	1,6	1,1	1,0	0,6	0,4	8,3
1990	2,6	2,7	5,2	3,1	1,5	1,1	0,7	0,5	0,4	0,6	2,3	4,9	2,1
1991	8,6	9,4	10,7	5,2	2,7	1,8	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	3,5
1992	0,6	1,0	2,6	1,5	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7
1993	2,1	8,1	20,0	9,2	4,0	2,6	1,7	1,1	0,8	0,7	1,2	2,0	4,5
1994	11,7	22,8	25,1	11,2	5,6	3,3	2,1	1,4	1,3	0,7	0,8	1,4	7,3
1995	3,6	4,1	6,8	3,7	2,0	1,3	0,9	0,6	0,5	0,4	1,3	3,0	2,3
1996	8,7	17,7	17,3	8,4	3,9	2,6	1,6	1,1	0,8	0,7	0,6	1,5	5,4
1997	6,6	19,9	6,9	3,9	2,3	1,6	1,0	0,7	0,6	0,6	0,8	4,2	4,1
1998	14,1	19,8	25,7	8,7	4,3	2,9	1,8	1,2	0,9	0,7	0,6	1,6	6,9
1999	3,7	30,0	20,7	14,2	6,7	3,7	2,4	1,7	1,3	1,4	1,2	3,1	7,5
2000	8,2	17,9	14,7	6,8	3,6	2,3	1,5	1,1	0,9	1,1	1,2	3,7	5,3
2001	12,9	16,3	29,7	12,7	5,2	3,5	2,2	1,4	1,1	0,8	2,0	1,0	7,4
2002	2,1	7,7	12,6	8,4	3,5	2,3	1,5	1,0	0,8	1,0	2,5	1,8	3,8
2003	4,5	6,8	12,5	5,6	2,8	1,9	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4	5,2	3,6
2004	3,0	9,7	9,2	6,8	2,9	2,0	1,3	0,8	0,7	0,6	0,6	1,8	3,3
2005	3,6	5,6	8,4	5,3	2,3	1,6	1,0	0,7	0,5	0,3	0,3	3,0	2,7
2006	7,6	15,0	23,5	9,4	4,3	2,9	1,8	1,2	0,8	0,8	1,2	4,6	6,1
2007	8,1	7,0	23,3	11,3	4,6	3,0	1,9	1,3	0,9	1,0	0,7	0,8	5,3
2008	5,8	16,8	23,6	7,9	3,9	2,6	1,7	1,1	0,8	0,7	0,8	1,1	5,6
2009	6,4	18,3	22,6	11,9	4,8	3,1	2,0	1,3	0,9	1,3	1,7	1,9	6,3
2010	3,7	7,8	12,8	6,5	3,0	2,0	1,3	0,9	0,7	0,6	0,7	2,2	3,5
2011	8,3	8,4	11,5	8,3	3,4	2,3	1,5	1,0	0,7	0,5	0,9	2,0	4,1
2012	2,5	9,7	19,7	11,2	4,5	2,9	1,8	1,2	0,9	1,2	1,0	2,2	4,9
2013	3,2	11,8	23,7	7,2	4,0	2,6	1,7	1,2	0,8	0,8	0,7	1,5	4,9
2014	6,5	7,0	20,7	8,3	4,0	2,6	1,7	1,2	0,9	1,1	1,9	3,6	5,0
2015	10,2	11,1	26,1	12,1	4,9	3,2	2,0	1,4	0,9	0,7	0,8	2,5	6,3
2016	1,9	7,6	7,5	4,9	2,3	1,6	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,6	2,4
2017	4,3	11,9	21,3	8,7	4,0	2,7	1,7	1,1	0,8	0,7	1,1	4,6	5,2
2018	10,6	22,4	24,7	12,8	5,2	3,3	2,1	1,4	1,0	1,4	1,7	1,9	7,4
Prom	6,1	12,7	17,3	8,0	3,7	2,4	1,6	1,1	0,8	0,8	0,9	2,2	4,8

**ANEXO 6: CAUDALES EN RÉGIMEN INTERVENIDO EN LAS CUENCAS CHILLÓN,
RÍMAC Y LURÍN**

Tabla 43: Caudales en E.H. Puente Magdalena (m³/s) – cuenca Chillón

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
1966	6,0	7,4	7,9	5,3	2,9	2,8	2,6	2,6	2,8	3,6	3,4	6,7	4,5
1967	13,9	34,3	26,6	7,3	3,9	2,8	2,6	2,6	2,7	3,2	3,0	4,1	8,9
1968	7,1	5,9	7,3	4,3	2,3	2,5	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	3,9
1969	4,1	7,4	14,6	10,8	3,5	2,8	2,6	2,6	2,8	3,0	3,9	14,2	6,0
1970	34,1	18,9	20,0	17,1	5,3	3,2	2,6	2,6	3,0	3,1	2,9	7,0	10,0
1971	9,0	15,8	22,7	8,8	3,9	2,7	2,5	2,5	2,8	2,9	3,0	5,4	6,8
1972	12,9	23,5	46,0	15,2	5,3	3,4	2,8	2,6	2,8	2,9	2,9	4,5	10,4
1973	14,4	19,3	30,6	20,6	6,8	3,6	2,6	2,6	2,8	3,7	3,3	11,0	10,1
1974	12,9	21,0	23,3	11,1	4,1	3,0	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	7,8
1975	7,0	13,2	24,7	8,6	5,2	2,9	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	6,6
1976	9,9	19,1	23,4	8,2	3,7	3,2	2,6	2,6	2,7	2,8	3,0	4,1	7,1
1977	13,9	35,7	17,7	14,4	4,2	2,9	2,6	2,6	2,8	2,9	4,4	5,1	9,1
1978	7,6	13,8	11,8	5,9	2,9	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	5,2
1979	4,1	14,4	22,8	9,7	3,5	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	6,3
1980	7,8	5,5	14,5	5,7	2,9	2,8	2,6	2,6	2,8	4,8	5,4	5,0	5,2
1981	10,6	35,2	34,3	13,3	4,0	3,1	2,6	2,6	2,8	2,9	3,8	5,5	10,1
1982	11,1	26,0	13,0	9,0	3,3	2,8	2,6	2,6	2,8	3,4	6,0	4,4	7,3
1983	6,6	6,1	14,1	7,6	2,9	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	8,4	5,2
1984	16,5	44,4	30,8	12,5	5,0	3,5	2,6	2,6	2,8	4,3	4,0	9,0	11,5
1985	12,2	27,0	24,8	8,5	4,0	2,9	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	8,1
1986	13,1	22,8	25,0	10,8	4,5	2,9	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,5	8,1
1987	12,5	13,0	10,1	5,4	2,9	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	5,4
1988	10,7	12,5	11,9	12,1	3,8	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,5	6,0
1989	14,2	34,9	39,7	12,8	5,7	3,5	3,0	2,6	3,0	3,0	3,0	4,1	10,8
1990	5,1	6,0	5,8	4,1	2,9	2,8	2,6	2,6	2,8	3,7	5,5	4,8	4,1
1991	5,4	7,9	15,6	6,5	3,3	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	5,0
1992	4,1	4,4	8,1	4,5	2,9	2,2	2,3	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	3,7
1993	6,9	13,6	25,3	13,8	4,9	3,0	2,6	2,6	2,8	2,9	5,6	8,3	7,7
1994	13,1	24,6	25,6	13,5	5,8	3,2	2,6	2,6	2,8	2,9	3,7	4,1	8,7
1995	6,6	6,6	10,5	7,1	3,2	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,2	5,8	4,7
1996	10,0	24,1	23,1	12,4	4,5	2,9	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	7,9
1997	6,9	17,1	6,1	4,3	2,9	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,4	10,4	5,4
1998	25,5	32,9	45,2	12,2	4,3	3,3	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	11,8
1999	7,6	42,6	26,2	16,2	6,4	3,6	2,6	2,6	2,8	3,1	3,0	5,7	10,2
2000	15,2	34,9	28,2	12,1	6,0	3,3	2,6	2,6	2,7	3,5	3,4	9,1	10,3
2001	22,1	22,1	36,3	13,4	4,6	3,3	2,6	2,6	2,9	2,9	5,2	4,1	10,2
2002	4,9	10,6	18,7	15,3	4,4	3,2	2,6	2,6	2,8	3,7	5,3	5,3	6,6
2003	9,5	14,8	24,6	9,3	3,5	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	7,5	7,2
2004	4,3	12,4	10,5	8,4	3,0	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,8	6,5	5,2
2005	9,7	9,1	13,7	7,1	2,9	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,2	5,3
2006	9,4	17,1	29,4	14,2	3,9	3,1	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	7,6	8,2
2007	12,0	12,5	28,7	13,8	4,7	3,0	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	7,7
2008	10,2	22,4	25,5	9,4	3,5	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	5,0	7,7
2009	16,1	36,5	37,8	16,0	5,2	3,4	2,6	2,6	2,8	4,0	7,3	7,5	11,8
2010	10,7	12,3	17,7	8,2	3,3	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	6,4	6,3
2011	13,7	12,9	15,1	13,6	3,6	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,7	8,8	7,1
2012	6,6	16,5	18,1	14,3	4,2	3,1	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	5,9	6,9
2013	6,7	17,2	23,9	7,6	4,4	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	5,4	6,8
2014	10,9	11,5	18,4	9,3	5,2	2,8	2,6	2,5	2,8	2,9	4,1	7,6	6,7
2015	12,7	14,9	27,9	13,0	4,9	3,4	2,6	2,6	2,8	2,9	3,2	5,6	8,0
2016	4,1	12,8	12,1	8,9	3,1	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	4,1	5,1
2017	8,6	16,3	28,9	14,1	3,8	3,0	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	7,6	8,0
2018	18,7	38,6	38,7	16,2	5,3	3,4	2,6	2,6	2,8	4,1	7,3	7,5	12,3

Tabla 44: Caudales en E.H. Chosica (m³/s) – cuenca Rímac

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
1965	26,4	52,1	55,9	34,7	21,6	19,8	16,9	18,0	17,4	16,1	16,4	21,0	26,4
1966	29,6	32,7	36,5	26,6	17,5	13,9	10,5	10,9	12,1	21,6	17,0	27,1	21,3
1967	37,8	100,4	75,6	34,6	25,4	21,2	16,5	18,4	19,3	24,9	20,2	21,0	34,6
1968	28,8	25,5	30,1	21,9	17,0	14,1	10,9	11,0	11,1	14,8	16,4	17,9	18,3
1969	19,6	36,1	46,9	35,8	22,0	17,2	13,4	13,6	17,4	23,4	25,1	38,4	25,7
1970	81,4	55,1	54,1	52,3	30,8	23,9	19,2	22,1	26,9	25,5	26,6	36,9	37,9
1971	36,2	68,0	82,6	39,3	25,7	22,8	18,4	22,1	21,1	24,6	22,6	32,5	34,7
1972	42,6	65,5	115,4	58,3	28,2	26,4	23,1	21,9	25,8	26,0	26,8	34,4	41,2
1973	60,8	73,5	93,9	64,5	32,1	27,4	24,0	25,0	26,7	27,8	28,2	37,0	43,4
1974	47,0	75,6	68,1	49,8	26,0	25,5	21,0	24,7	24,9	23,1	23,6	26,0	36,3
1975	34,9	47,4	78,6	36,3	32,4	26,1	19,2	22,1	24,4	24,3	25,9	32,4	33,7
1976	46,6	71,4	67,7	35,9	29,1	25,7	19,5	21,2	22,4	19,8	21,0	27,1	34,0
1977	32,7	62,4	45,1	31,9	26,8	20,4	16,1	16,9	19,2	19,6	28,1	31,0	29,2
1978	35,9	48,5	47,4	33,8	22,4	21,9	17,9	20,2	22,3	22,3	25,4	27,5	28,8
1979	26,7	46,4	79,8	38,3	25,2	21,3	17,4	18,8	20,6	19,7	21,9	26,4	30,2
1980	35,5	32,7	51,3	31,8	23,3	19,5	16,8	16,9	18,2	28,5	28,8	29,9	27,8
1981	40,7	92,6	88,0	48,8	25,9	23,8	19,6	22,5	22,3	24,1	28,7	39,2	39,7
1982	45,4	82,9	51,0	40,5	23,8	22,2	19,1	22,4	21,9	25,8	29,5	28,5	34,4
1983	34,8	38,9	69,7	47,8	25,5	22,8	17,6	19,4	21,4	21,7	23,2	36,0	31,6
1984	38,5	113,9	91,4	45,4	31,7	28,4	21,0	22,5	21,8	26,9	29,4	36,0	42,2
1985	35,5	57,6	62,2	42,9	30,0	25,9	19,6	21,0	24,3	19,9	22,3	34,3	33,0
1986	50,2	64,3	66,7	47,9	30,6	23,3	26,8	24,1	22,1	20,4	22,5	32,5	36,0
1987	46,2	49,7	45,2	32,4	22,5	19,9	17,4	19,0	22,1	19,8	24,7	30,1	29,1
1988	40,8	52,8	51,1	45,5	26,4	22,8	17,1	19,8	22,4	20,5	22,0	28,8	30,8
1989	47,2	98,0	102,9	45,8	27,8	23,7	22,3	21,9	24,3	25,5	23,7	22,0	40,4
1990	33,8	31,5	31,9	23,9	21,0	18,7	13,6	13,3	15,7	21,0	31,4	35,1	24,2
1991	31,2	39,0	61,2	33,6	22,6	18,2	14,2	14,7	16,5	19,3	18,8	19,8	25,8
1992	19,9	24,8	32,0	23,8	15,3	12,9	10,0	9,9	10,0	19,5	15,5	18,3	17,7
1993	37,9	52,1	60,3	39,9	23,9	18,6	15,8	16,9	19,4	22,2	30,9	38,2	31,3
1994	49,7	79,4	77,0	50,7	31,7	25,6	19,8	22,7	25,0	24,2	27,2	31,5	38,7
1995	33,9	36,7	45,7	37,5	25,8	21,3	17,2	19,2	21,3	22,7	25,6	31,3	28,2
1996	41,6	61,6	65,9	41,4	27,4	21,1	17,5	19,3	20,2	21,0	21,8	25,6	32,0
1997	33,3	42,1	31,9	25,7	20,4	16,7	14,3	18,4	20,3	20,5	24,7	37,0	25,5
1998	54,2	74,7	86,2	37,2	25,5	25,0	19,7	22,2	24,4	25,9	24,5	25,7	37,1
1999	36,2	87,9	63,7	47,7	31,3	26,8	23,8	24,3	26,2	27,6	27,5	33,4	38,0
2000	47,1	72,7	70,0	40,8	31,8	26,9	25,2	26,4	25,0	27,4	25,9	36,5	38,0
2001	62,8	66,2	94,4	48,0	29,7	27,3	25,8	27,1	26,9	26,9	29,7	28,5	41,1
2002	32,6	40,3	54,5	43,7	28,7	26,4	24,5	26,2	26,5	27,2	27,6	31,8	32,5
2003	38,3	48,8	67,3	44,7	27,4	27,4	24,2	26,1	25,7	27,0	25,8	33,8	34,7
2004	25,7	43,7	41,4	33,9	25,2	25,2	19,9	22,2	24,5	27,3	28,0	37,0	29,5
2005	40,4	41,3	53,2	33,3	25,6	24,1	20,4	23,2	22,5	21,8	21,7	28,8	29,7
2006	41,4	62,4	86,2	55,6	26,2	28,2	23,8	27,1	26,7	26,6	27,7	35,3	38,9
2007	46,3	55,7	94,5	58,1	31,1	28,2	24,8	27,3	26,7	27,1	27,4	28,4	39,6
2008	41,9	75,3	58,0	34,3	25,9	25,7	21,6	24,4	23,5	26,3	26,4	31,0	34,5
2009	47,4	84,2	85,0	49,3	32,2	27,7	24,7	27,7	26,9	27,9	35,2	38,2	42,2
2010	45,8	60,1	68,7	42,9	25,9	26,5	23,5	26,4	26,3	26,8	27,5	33,5	36,2
2011	45,6	57,3	59,1	52,7	28,8	26,2	24,2	25,9	26,8	25,3	27,6	33,0	36,0
2012	33,5	46,5	56,1	62,2	28,9	26,9	23,4	25,4	27,6	27,7	28,9	34,3	35,1
2013	36,3	66,3	78,8	39,6	33,5	27,9	27,8	27,7	27,6	31,4	31,3	32,8	38,4
2014	42,7	48,1	70,5	44,0	30,6	27,8	27,7	27,6	31,7	34,4	33,3	35,9	37,9
2015	46,3	51,8	80,1	48,5	34,6	28,1	27,9	27,8	31,0	33,3	33,4	36,7	40,0
2016	30,1	57,9	51,8	36,4	27,9	27,7	26,6	27,5	27,5	26,9	25,9	29,0	32,9
2017	38,7	59,1	86,2	54,6	29,6	28,2	27,2	27,8	27,8	27,4	27,7	36,7	39,2
2018	59,7	100,7	99,5	59,9	36,1	28,3	28,1	28,0	27,9	27,9	38,9	46,8	48,5

Tabla 45: Caudales en Puente Manchay (m³/s) – cuenca Lurín

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
1965	3,0	11,3	14,9	5,7	2,3	0,9	0,6	0,3	0,5	0,5	0,4	0,6	3,4
1966	2,8	3,1	5,9	3,4	1,6	0,4	0,3	0,1	0,4	1,0	0,5	0,6	1,7
1967	6,2	32,5	26,0	6,0	2,9	1,2	0,8	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	6,5
1968	2,5	1,8	4,0	2,9	1,4	0,3	0,2	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	1,2
1969	1,2	4,1	10,9	5,4	2,0	0,8	0,7	0,3	0,4	0,8	1,1	4,6	2,7
1970	17,9	7,0	9,6	6,6	3,0	0,9	0,6	1,4	1,6	0,8	1,5	4,5	4,6
1971	5,2	12,9	23,4	7,5	2,8	1,2	0,8	0,5	0,5	0,6	0,5	1,3	4,8
1972	6,1	11,5	39,4	11,5	3,4	1,6	1,1	0,6	0,7	1,1	1,8	5,8	7,1
1973	13,9	14,6	31,3	12,7	3,6	1,6	1,1	0,7	0,9	1,0	0,7	2,4	7,0
1974	5,7	14,1	15,3	5,8	2,3	1,0	0,7	0,4	0,5	0,5	0,7	0,4	3,9
1975	2,1	5,4	17,1	4,8	2,3	0,9	0,6	0,3	0,5	0,5	0,6	1,2	3,0
1976	3,3	12,5	10,0	3,5	1,9	0,7	0,5	0,2	0,4	0,4	0,3	0,7	2,9
1977	1,7	13,5	7,7	3,8	1,8	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4	1,0	0,7	2,7
1978	2,9	2,4	4,1	3,5	1,4	0,4	0,3	0,1	0,3	0,4	0,3	0,4	1,4
1979	0,9	3,4	14,0	4,1	2,0	0,7	0,5	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	2,3
1980	3,4	2,0	8,2	2,8	1,5	0,4	0,3	0,1	0,3	0,7	0,6	0,5	1,8
1981	3,3	20,2	23,7	10,9	3,1	1,4	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	4,9	5,9
1982	11,4	18,7	13,0	4,3	2,2	0,8	0,6	0,4	0,5	1,1	1,1	0,5	4,5
1983	2,9	7,3	11,2	6,6	2,8	0,9	0,6	0,3	0,5	0,6	0,5	2,6	3,1
1984	5,7	21,7	20,5	7,3	2,9	1,2	0,8	0,5	0,6	2,6	1,7	2,2	5,6
1985	2,6	11,5	14,1	5,1	2,2	0,8	0,6	0,3	0,5	0,5	0,6	1,0	3,3
1986	8,0	14,6	15,5	7,9	2,9	1,1	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	2,6	4,6
1987	13,1	9,9	6,8	3,1	1,7	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4	0,5	0,7	3,2
1988	3,6	7,3	8,5	5,9	2,1	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	1,4	1,7	2,7
1989	10,0	22,7	27,9	9,4	3,1	1,4	0,9	0,6	0,6	0,8	0,5	0,2	6,5
1990	2,7	2,4	4,7	3,0	1,4	0,3	0,3	0,1	0,3	0,6	2,1	3,9	1,8
1991	7,4	7,6	8,9	4,1	1,8	0,6	0,4	0,2	0,4	0,5	0,5	0,3	2,7
1992	0,9	1,2	2,7	2,0	1,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,4	0,3	0,2	0,8
1993	2,3	7,2	17,6	7,0	2,4	0,9	0,6	0,3	0,5	0,6	1,1	1,5	3,5
1994	10,5	19,5	21,1	8,2	3,5	1,2	0,8	0,4	0,8	0,5	0,7	1,0	5,7
1995	3,3	3,4	5,9	3,3	1,6	0,4	0,3	0,1	0,4	0,5	1,2	2,4	1,9
1996	7,7	15,1	14,2	6,2	2,4	0,9	0,6	0,3	0,5	0,6	0,5	1,1	4,2
1997	6,0	17,5	4,7	3,1	1,7	0,5	0,4	0,2	0,5	0,6	0,7	3,5	3,3
1998	12,5	16,5	21,8	5,9	2,5	1,1	0,7	0,4	0,5	0,6	0,5	1,2	5,3
1999	3,4	27,1	16,8	11,1	4,3	1,4	0,9	0,6	0,8	1,1	0,9	2,5	5,9
2000	7,2	15,3	11,8	5,0	2,3	0,8	0,6	0,3	0,6	0,9	1,0	3,0	4,1
2001	11,4	13,3	25,7	9,2	2,9	1,3	0,8	0,4	0,6	0,6	1,7	0,5	5,7
2002	2,0	6,8	10,8	6,8	2,3	0,8	0,6	0,3	0,6	0,9	2,1	1,2	2,9
2003	4,0	5,7	10,8	4,4	1,9	0,6	0,5	0,2	0,4	0,5	0,4	4,5	2,8
2004	2,3	8,3	7,4	5,7	1,9	0,7	0,5	0,2	0,5	0,5	0,6	1,4	2,5
2005	3,3	4,7	7,2	4,5	1,7	0,5	0,4	0,2	0,3	0,4	0,4	2,5	2,2
2006	6,7	12,7	20,2	6,7	2,5	1,0	0,7	0,4	0,5	0,6	1,0	3,8	4,7
2007	6,9	5,3	20,6	8,7	2,6	1,1	0,7	0,4	0,5	0,8	0,6	0,5	4,1
2008	5,4	14,6	20,2	5,4	2,4	0,9	0,6	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	4,4
2009	5,8	15,9	19,2	9,1	2,8	1,1	0,8	0,4	0,5	1,1	1,4	1,3	5,0
2010	3,3	6,7	11,0	5,1	1,9	0,7	0,5	0,2	0,5	0,5	0,6	1,8	2,7
2011	7,5	6,6	9,6	6,8	2,1	0,8	0,6	0,3	0,4	0,5	0,8	1,5	3,1
2012	2,3	8,6	17,2	8,8	2,7	1,1	0,7	0,4	0,6	1,0	0,8	1,7	3,8
2013	2,9	10,3	20,7	4,8	2,5	0,9	0,6	0,4	0,5	0,7	0,6	1,1	3,8
2014	6,0	5,6	18,3	6,1	2,5	0,9	0,6	0,4	0,6	0,9	1,6	2,8	3,9
2015	9,0	8,9	22,9	9,1	2,9	1,2	0,8	0,5	0,6	0,6	0,7	2,0	4,9
2016	1,7	6,8	6,2	4,2	1,7	0,5	0,4	0,2	0,4	0,4	0,3	0,5	1,9
2017	4,1	10,3	18,4	6,3	2,4	1,0	0,6	0,3	0,5	0,6	1,0	3,8	4,1
2018	9,2	19,1	20,8	9,6	2,9	1,2	0,8	0,5	0,6	1,1	1,4	1,4	5,7