



Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Pativilca

Resumen Ejecutivo

■ Noviembre 2015



■ ÍNDICE

ACRÓNIMOS.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Ámbito	7
1.2. Objetivos.....	7
1.3. Metodología.....	7
1.4. Contenido del Estudio	7
1.5. Información Disponible.....	8
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA	9
3. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA E INFRAESTRUCTURAS	12
4. RECURSOS HÍDRICOS	13
4.1. Estudio hidrometeorológico e hidrométrico.....	15
4.2. Modelamiento hidrológico y disponibilidad hídrica	16
4.3. Cambio climático.....	20
5. HIDROGEOLOGÍA.....	22
6. USOS Y DEMANDAS	24
7. DERECHOS DE USO DE AGUA.....	27
8. CAUDAL ECOLÓGICO	28
9. BALANCE HÍDRICO	29
9.1. Modelo de gestión	29
9.1. Balance de la cuenca en la situación actual.....	31
9.2. Escenarios de Aprovechamiento Hídrico Futuro	35
10. CALIDAD DE LAS AGUAS	41
10.1. Inventario de fuentes de contaminación	41
10.2. Evaluación del estado de los cuerpos de agua	41
10.3. Contraste de la calidad del agua con las presiones inventariadas.....	42
11. EVENTOS EXTREMOS Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA	44
11.1. Inundaciones	44
11.2. SEQUÍAS.....	44
11.3. VARIABILIDAD CLIMÁTICA.....	44
12. DINÁMICA FLUVIAL: EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	46
13. PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO.....	47
13.1. Potencial Hidroeléctrico.....	47
13.2. Potencial de Almacenamiento.....	47
13.3. Lineamiento para el aprovechamiento óptimo de la riqueza hídrica	48
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
14.1. Conclusiones.....	49
14.2. Recomendaciones.....	53

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secuencia de acciones del enfoque metodológico.....	7
Figura 2. Nevado Huacshash	9
Figura 3. Laguna Shinucocha Baja.....	9
Figura 4. Mapa político de la cuenca Pativilca. Fuente: Elaboración propia a partir de SNIRH, ANAI 2014.....	10
Figura 5. Subcuencas aportadoras a los puntos de control. Fuente elaboracion propia.....	14
Figura 6. Evolución de la precipitación anual promedio (total de estaciones)	15
Figura 7. Esquema conceptual del modelo	16
Figura 8. Aportación acumulada anual de la cuenca del río Pativilca. Período completo: 1965-2013. Modelo Hidrológico Pativilca. Fuente: elaboración propia.....	20
Figura 9. Distribución de la aportación mensual del año medio (hm ³) en régimen natural (RN) y régimen natural con los efectos del Cambio Climático (RN con CC). Fuente: elaboración propia....	20
Figura 10. Mapa de isopiezas 2015, acuífero agrícola de Pativilca Fuente: Elaboración propia.....	22
Figura 11. Volúmenes bajo derechos de uso de agua (consuntivos) existentes en la cuenca. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Derechos de Uso Agrarios-Usos No Agrarios, ANA, 2014. .	27
Figura 12. Esquema del modelo de gestión Fuente: elaboración propia	30
Figura 13. Oferta natural anual y media mensual de la cuenca. Periodo 1965-2013. Fuente: elaboración propia.....	31
Figura 14. Demanda mensual actual de agua aplicada en el modelo. Fuente: elaboración propia...	31
Figura 15. Detalle de la situación de las presas y algunos puntos de requisito de caudal ecológico. Fuente: elaboración propia.	35
Figura 16. Balance Hídrico global en la situación actual para la cuenca Pativilca. Fuente: elaboración propia.	50
Figura 17. Balance Hídrico global en la situación futura para la cuenca Pativilca. Fuente: elaboración propia.	50

■ ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica. Fuente: elaboración propia.	9
Tabla 2. Estaciones y periodo de calibración y validación	18
Tabla 3. Estadísticos obtenidos para el período de calibración y validación. Modelo hidrológico de Pativilca. Fuente: Elaboración propia.	18
Tabla 4. Resumen de caudales y aportaciones anuales por subcuenca en régimen natural. Período 1965-2013. Modelo hidrológico de Pativilca. Fuente: Elaboración propia.	19
Tabla 5. Demanda actual y futura para los distintos usos existentes en la cuenca. Fuente: INEI, Proinversión GR Lima 2014.	26
Tabla 6. Resultados de los caudales ecológicos mensualizados en los tramos prioritarios	28
Tabla 7. Prioridades según tipo de uso en el modelo de gestión.	29
Tabla 8. Subsistemas definidos para análisis de balance y subcuencas incluidos en cada uno. Fuente: elaboración propia.	31
Tabla 9. Confiabilidad de suministro de las Centrales Hidroeléctricas en el modelo de gestión: situación actual. Fuente: elaboración propia.	32
Tabla 10. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos: situación actual. Fuente: elaboración propia.	33
Tabla 11. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes (hm ³ /a): situación actual. Fuente: elaboración propia.	34
Tabla 12. Variación de las demandas en situación futura.	35
Tabla 13. Confiabilidad de suministro de las Centrales Hidroeléctricas en el modelo de gestión: situación futura. Fuente: elaboración propia.	36
Tabla 14. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos: situación futura, sin cambio climático. Fuente: elaboración propia.	37
Tabla 15. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos: situación futura, con cambio climático. Fuente: elaboración propia.	38
Tabla 16. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes (hm ³ /a): situación futura, sin cambio climático. Fuente: elaboración propia.	39
Tabla 17. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes (hm ³ /a): situación futura, con cambio climático.	40
Tabla 18. Índices de variabilidad climática seleccionados para el estudio.	45
Tabla 19. Resumen de caudales y aportaciones anuales por subcuenca en régimen natural. Período 1965-2013. Modelo hidrológico de Pativilca. Fuente: Elaboración propia.	52

ACRÓNIMOS

Acónimo	Institución/Organismo
AAA	Autoridad Administrativa del Agua
ADM	Análisis de doubles Masas
ALA	Administración Local del Agua
AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation (Oscilación Multidecadal del Atlántico)
ANA	Autoridad Nacional del Agua
CAF	Corporación Andina de Fomento
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CES	Coefficiente de Entrega de Sedimento
COES	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional
CPM	Centro Poblado Menor
CTCI	Comité Técnico de Coordinación Interna
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DCPRH	Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos
DEM	Modelo Digital de Elevaciones
DEPHM	Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales
DGA	Dirección General de Aguas
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
ENSO	El Niño Southern Oscillation
EPS	Empresa Prestadora de Servicios
EPT	Evapotranspiración potencial
EROS	Earth Resources Observation and Science Center
FAO	Food and Agriculture Organization
GIRH	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
GIS	Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)
IAHRIS	Índices de Alteración Hidrológica en Ríos
INAF	Instituto Nacional de Ampliación de la Frontera Agrícola
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INGEMMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)
IRHS	Inventario de Recursos Naturales Subterráneos
JASAP	Junta Administradora de Servicios de Agua Potable
JASS	Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
Kc	Coefficiente de Cultivo
LENSO	La Niña
LMP	Límites Máximos Permisibles
MDT	Modelo Digital de Terreno

Acrónimo	Institución/Organismo
MEI	Multivariate ENSO Index
MFOP	Ministerio de Fomento y Obras Públicas
MINAG	Ministerio de Agricultura
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MIVIVIENDA	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
MOSS	Monthly Streamflow Simulation
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONERN	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PAVER	Programa de Autorización de Vertimientos
PDO	Pacific Decadal Oscillation
PEA	Población Económicamente Activa
PRODUCE	Ministerio de Producción
PROFODUA	Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua
RADA	Registro Administrativo de Derechos de Agua
RCP	Sendas Representativas de Concentración
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
SNIP	Sistema Nacional de Inversión Pública
SNIRH	Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos
SOI	Southern Oscillation Index
SPI	Standard Precipitation Index (Índice de Precipitación Estandarizado)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UNALM	Universidad Nacional Agraria de la Molina
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USGS	United States Geological Survey
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM	Universal Transverse Mercator (Universal Transversal de Mercator)
WEAP	Water Evaluation And Planning (
WGS	World Geodetic System

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ÁMBITO

El ámbito de estudio comprende la Unidad Hidrográfica (UH) del río Pativilca (código 13758), perteneciente a la Autoridad Administrativa del Agua Cañete - Fortaleza de la vertiente del Pacífico, con un área total de 4 577,24 km². En la cuenca alta destacan sus tributarios Achin, Rapay y Gorgor.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal del estudio es determinar la disponibilidad hídrica de las cuencas hidrográficas con un modelo de soporte para la toma de decisiones; situación ésta, conceptualizada como una cualidad o condición de disponible; es decir, determinar el volumen mensualizado de recursos hídricos en la cuenca, que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) dispone a nombre de la Nación, desde el punto de vista legal, para otorgar los derechos en sus distintas modalidades establecidas en el Reglamento de la Ley N° 29338

Como objetivo específico del Estudio, la implementación de un modelo de gestión que permita realizar el planeamiento (evaluación y gestión) de los recursos hídricos de cada cuenca hidrográfica o unidad hidrográfica menor, que sirva de base para su aprovechamiento multisectorial y sostenible.

1.3. METODOLOGÍA

La metodología detallada en este apartado define de forma general la secuencia de acciones emprendidas para lograr el objetivo del estudio.

El enfoque metodológico desarrollado se apoya en una visión completa, integrada y realista de los recursos hídricos en las cuencas, que ha permitido que los productos finales sean confiables, veraces y de aplicación para la adecuada planificación de la gestión del agua en las cuencas.

Los pasos seguidos en la consecución de los trabajos han desarrollado las fases que se especifican a continuación:



Figura 1. Secuencia de acciones del enfoque metodológico

1.4. CONTENIDO DEL ESTUDIO

Este Resumen Ejecutivo forma parte del Estudio de Evaluación Recursos Hídricos correspondiente a la cuenca Pativilca, cuyo **contenido** está constituido por doce (12) capítulos y siete (7) anexos; se inicia con: i) introducción (Capítulo 1); ii) descripción general de la cuenca (Capítulo 2); iii) recursos naturales y modelo hidrológico (Capítulo 3); iv) hidrogeología (Capítulo 4); v) usos y demandas existentes (Capítulo 5); vi) análisis de los derechos de uso del agua (Capítulo 6); vii) balance hídrico (Capítulo 7); viii) calidad de las aguas (Capítulo 8); ix) eventos extremos y variabilidad climática (Capítulo 9); x) dinámica fluvial: erosión y transporte de sedimentos (Capítulo 10); xi) propuestas de aprovechamiento (Capítulo 11); xii) conclusiones y recomendaciones (Capítulo 12) y; xiii) bibliografía (Capítulo 13). En donde se detalla la información utilizada, el análisis y procedimiento seguido en el cálculo de las series de aportación; adicionalmente se incluyen fichas de la infraestructura hidráulica mayor considerada de importancia en la elaboración del modelo de gestión entre otros.

Los anexos están referidos a: i) inventario de fuentes de agua e infraestructura hidráulica mayor (Anexo 1); ii) monitoreo hidrogeológico de campo (Anexo 2); iii) recursos naturales y modelo hidrológico (Anexo 3); iv) Datos históricos de la calidad del agua (Anexo 4); v) balance hídrico (Anexo 5); vi) Geodatabase (Anexo 6) y; vii) planos (Anexo 7).

1.5. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Por otro lado, además del informe el estudio comprende un DVD contiene toda la información alfanumérica generada o utilizada para el estudio en forma de Geodatabase georeferenciada y con plataforma exportable a SIG, los archivos correspondientes al modelo de gestión, la base de datos con los estudios y documentos utilizados como información de partida para el desarrollo de los trabajos y los datos hidrometeorológicos.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

La cuenca **Pativilca** (unidad hidrográfica 134) tiene una extensión de 4 837 km² y se ubica en la vertiente Pacífica, entre las coordenadas geográficas que se indican en la siguiente tabla:

Sistemas	Datum	Componentes	Valor	
			Mínimo	Máximo
Coordenadas Geográficas	Horizontal WGS 1984	Longitud Oeste	76°45'	77° 50'
		Latitud Sur	9° 50'	10° 55'
Coordenadas UTM Zona 17	Horizontal WGS 1984	Metros Este	850527	961358
		Metros Norte	8811338	8910606
Coordenadas UTM Zona 18	Horizontal WGS 1984	Metros Este	194203	303021
		Metros Norte	8811775	8912972
Altitud	Vertical Nivel Medio del Mar	msnm	0	5 500 Nevados de Cajatambo

Tabla 1. Ubicación geográfica. Fuente: elaboración propia.

Políticamente, la cuenca del río Pativilca se localiza en los departamentos de Ancash y Lima, comprendiendo las provincias de Ocre y Bolognesi en el Departamento de Ancash y Caja tambo, Barranca y Huaura en el Departamento de Lima.

La cuenca del río Pativilca se enmarca dentro de la Autoridad Local del Agua Barranca, que a su vez depende de la Autoridad Administrativa del Agua III Cañete-Fortaleza.



Figura 2. Nevado Huacshash



Figura 3. Laguna Shinucocha Baja

En la siguiente figura se detalla la ubicación política de la cuenca de estudio.

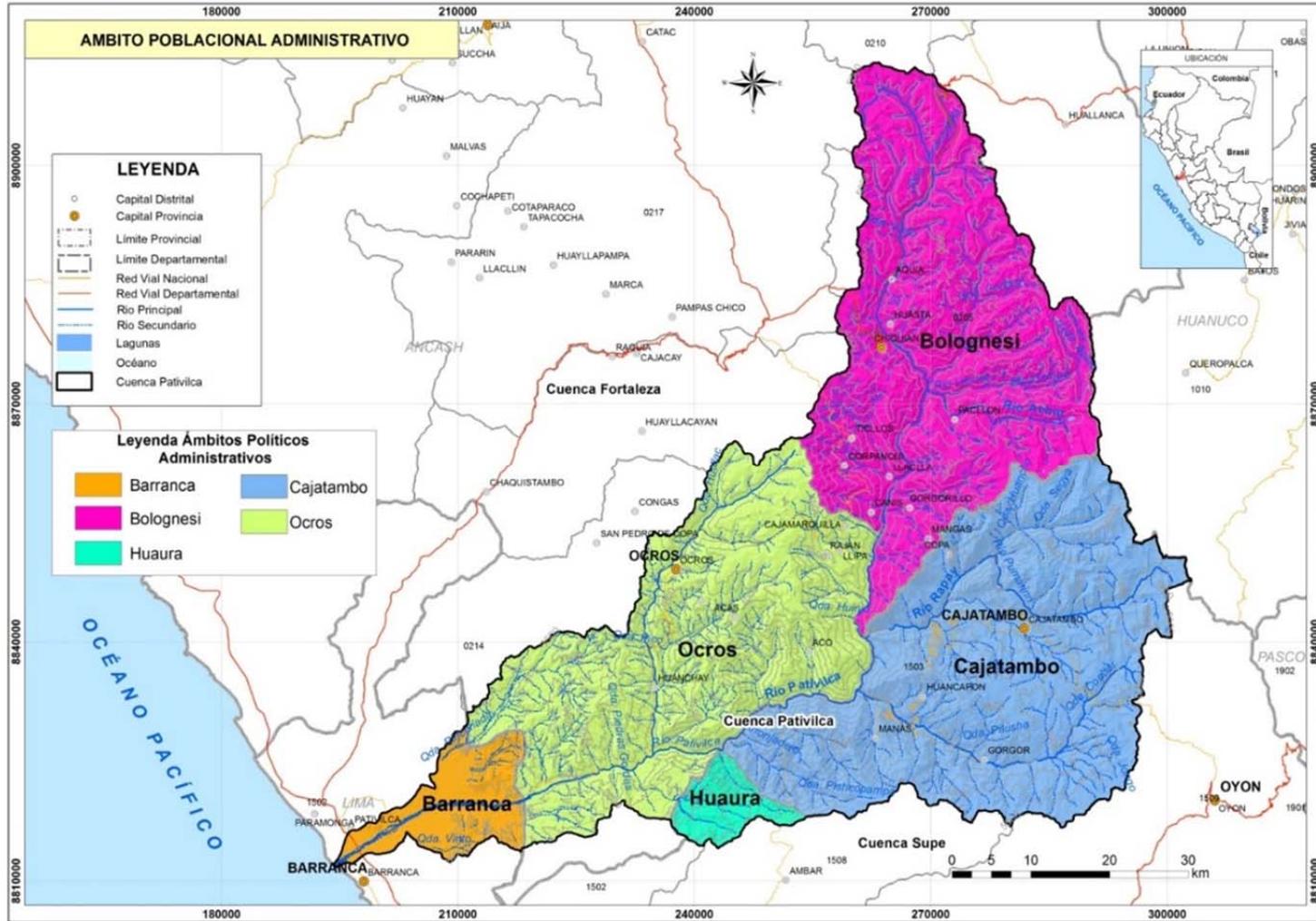


Figura 4. Mapa político de la cuenca Pativilca. Fuente: Elaboración propia a partir de SNIRH, ANAI 2014.

La cuenca del río Pativilca, pertenece a la vertiente del Pacífico y drena un área total de 4 837km². El río Pativilca recorre aproximadamente unos 174 km con una pendiente promedio de 2,8 % desde su nacimiento en los nevados de Cajatambo hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Este río tiene un perfil de pendiente moderada, ligeramente cóncavo en el curso medio, la pendiente media del cauce del río Pativilca es 2,7 %. Los perfiles longitudinales a lo largo de los principales cauces, se distingue que la pendiente media del cauce del río Achín es 7,3 %, el río Gorgor tiene pendiente homogénea en todo su recorrido, con valor medio de 7,64 % y finalmente, el río Huanchay es el principal afluente por la margen derecha en la cuenca baja, con pendiente homogénea de moderada a fuerte en todo su curso, de valor medio 7,88 %.

Con respecto a la **capacidad de uso mayor**, el 21,8% de la superficie de la cuenca es improductiva, por tratarse de terrenos con suelos inexistentes o poco desarrollados que impiden la explotación agrícola o ganadera. Las tierras aptas para el cultivo representan el 5,8% del total de superficie de la cuenca y se concentran en el valle bajo de los ríos Pativilca y Ocros (con pequeños minifundios en la zona alta de sierra), siempre asociados a los cursos fluviales principales.

El 49% de la superficie de la cuenca corresponde a pastos de montaña, con una calidad agrológica media y pendientes fuertes (lo que excluye la posibilidad de cultivos intensivos) y finalmente, el 23,4% de superficie restante es de protección forestal y no tiene un uso concreto y definido en la actualidad.

En la cuenca alta del río Pativilca se encuentra la **Zona Reservada de la Cordillera de Huayhuash**, que alberga en parte 4 áreas de conservación privadas: Huayllapa, Pacllán, Llamac y Microcuenca de Paria. También en la cuenca alta cabe mencionar **el Parque Nacional de Huascarán**, con 34 km² de los cuales 20 km² se encuentran dentro de la cuenca Pativilca, destaca su importancia ya que sus nevados la alimentan.

La cuenca del río Pativilca políticamente está conformada por los departamentos de Ancash y Lima. Posee una población total de 126 716 habitantes, los cuales se encuentran distribuidos mayoritariamente en la capital peruana(79,1%) La tasa promedio de analfabetismo en la cuenca es de 6,8%.

En lo que corresponde a la condición de pobreza, se tiene que en promedio el 29,6% de la población en la cuenca se encuentra en situación de pobreza, siendo parte de este porcentaje (7,3%) los cuales se encuentran en situación de pobreza extrema concentrada en las provincias de Ocros y Cajatambo, de los departamentos de Ancash y Lima respectivamente.

El **sector agrícola** en la cuenca Pativilca se caracteriza por una agricultura casi en su totalidad de bajo riego (93,2%) Cuenta con un total de 66 000 ha dedicadas a la agricultura; de esta extensión, 16000 ha corresponden al sector valle y 50 000 ha a la cuenca alta; en los terrenos agrícolas de la zona valle predominan el sembrío de caña de azúcar, maíz, algodón que representan el 67% del área agrícola física neta. En la cuenca alta, predomina el sembrío de hortalizas, pastos, cultivos extensivos y frutales.

El **sector pecuario** es otra actividad importante en la cuenca la cual registra un total de 22 860 cabezas de ganado vacuno, así como ganado ovino, porcino y aves de corral.

La **minería** es desarrollada en la parte alta de la cuenca, en los distritos de Aquia, Gorgor y Copa del departamento de Lima y los distritos de Pacllán y San Pedro del departamento de Ancash.

3. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA E INFRAESTRUCTURAS

El Estudio cuenta con un inventario tanto de fuentes de agua como de infraestructuras con el objetivo de sistematizar, ordenar y almacenar las características básicas de la infraestructura mayor principal, de modo que constituya una herramienta referencial para la construcción del modelo de gestión de los recursos hídricos de la cuenca.

La **red hidrográfica** principal de la cuenca Pativilca está constituida por un río principal: el Pativilca y por 4 afluentes (Huanchay por la margen derecha y Achín, Rapay y Gorgor por la margen izquierda). En el Anexo 1 del presente documento se incluye un listado con mayor detalle de los ríos y quebradas de la cuenca.

En la cuenca del río Pativilca se han identificado 22 lagunas, y 02 manantiales y 43 bofedales. Así mismo, 9 glaciares.

Con respecto a la **infraestructura hidráulica**, se han identificado 3 lagunas represadas, estas constituyen volúmenes de agua muy poco destacables a excepción de la presa Viconga con 25 hm³; así mismo, se han identificado 7 centrales hidroeléctricas, 54 bocatomas, 57 canales principales, 200 pozos distribuidos entre los distritos de Pativilca, Barranca y Supe Puerto.

4. RECURSOS HÍDRICOS

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

En términos generales, el criterio principal para la selección de las subcuencas de cálculo de oferta de la cuenca Pativilca han sido las unidades hidrográficas de Nivel 6 de Pfafstetter y las estaciones de aforo para la calibración del modelo hidrológico.

En términos de detalle, la justificación de las subcuencas elegidas es la siguiente:

- Las 9 unidades hidrográficas (UH) elaboradas según la metodología de Pfafstetter nivel 6 (UH) se consideran subcuencas del estudio hidrológico.
- Se han seleccionado explícitamente las subcuencas de todas las estaciones de aforo (7 en total), incluidas dos de ellas que prácticamente coinciden en situación, como son la estación 202401 (Alpas) con 25 años completos, aunque sólo 11, dos más que la 202402, en el periodo de análisis hidrológico seleccionado (1965-2013). En el caso de la estación 202403 (Yanapampa), cuya ubicación cambió en 2010, también se han delimitado las 2 subcuencas de cierre correspondientes a las 2 ubicaciones.
- La revisión de la información disponible sobre núcleos urbanos y bocatomas no indicó la presencia de ninguna captación poblacional importante. Sin embargo, como Barranca, Chiquián, Ocos y Cajatambo podrían tener cierta entidad, se ha asegurado que se seleccionan subcuencas cercanas.
- La revisión de la información disponible sobre canales, bocatomas y demandas agrícolas sólo indicó la presencia de demandas importantes en el tramo bajo del Pativilca, aguas abajo de la confluencia del Huanchay. A pesar de que esta zona costera no producirá mucha oferta adicional de agua, se han definido cuatro subcuencas que, en primera aproximación, representarán adecuadamente la oferta disponible para las agrupaciones de demandas a establecer en el montaje del modelo de gestión.
- El número de subcuencas elegidas es coherente con la escasa superficie de la cuenca, de casi 4600 km². La de mayor superficie es de 750 km², las dos siguientes con mayor área no llegan a los 600 km².

El resultado es la subdivisión de la cuenca en 21 **subcuencas**.

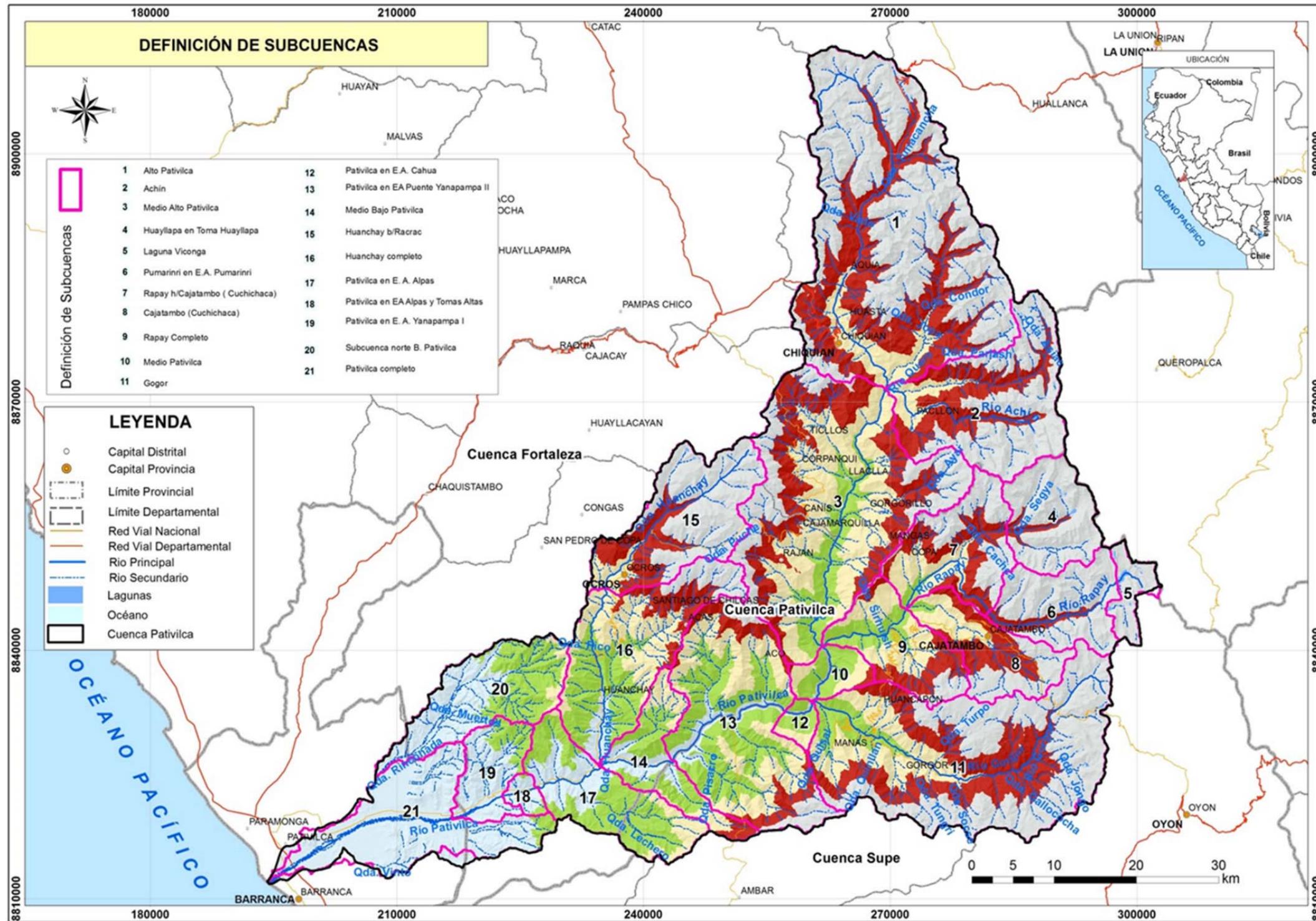


Figura 5. Subcuencas aportadoras a los puntos de control. Fuente elaboración propia

4.1. ESTUDIO HIDROMETEOROLÓGICO E HIDROMÉTRICO

La **temperatura promedio** multianual en el periodo estudiado (1965 – 2013) es de unos 5°C en la zona de cabecera y de 20 °C en la zona de desembocadura, existiendo una tendencia de variación clara de temperatura con la altitud.

La **humedad relativa** fluctúa entre 50 y 90 % a lo largo del año. La humedad relativa presenta un comportamiento inverso en la estación situada en la Costa, frente a las dos estaciones situadas en zonas de alta montaña. En la primera los máximos de humedad relativa tienen lugar entre los meses de mayo a septiembre, mientras que en las dos estaciones restantes es en este periodo en el que la humedad registra un descenso en sus valores hasta alcanzar los mínimos en los meses de julio y agosto. Los valores promedio multianuales oscilan en 70,5 y 83,6 %

La **velocidad del viento** es mayor a mayor altura. La velocidad del viento es muy variable a lo largo del año en las estaciones situadas a mayor cota, mientras que en la Costa los registros de viento se mantiene más o menos estable a lo largo del año. El promedio en la costa es 2,7m/s y en las de mayor cota entre: 2,0 m/s y 0,9 m/s.

El rango de **evaporación media** registrado a lo largo del año se sitúa entre 58 mm en el mes de Febrero y 130 mm en el mes de julio. La evaporación en la cuenca alcanza sus máximos durante los meses de junio a agosto y presenta sus mínimos en los meses de enero a marzo.

La **evapotranspiración potencial** registrado a lo largo del año se sitúa entre 1 500 mm/año, en la zona de Costa, donde este valor es máximo. Existe gran variabilidad anual con máximos centrados en el periodo de noviembre a marzo (con valores superiores a 170 mm/mes) y valles en los meses de abril a septiembre (con valores inferiores a 80 mm/mes). . Aumenta con la altitud, teniendo una variación anual diferente entre las estaciones de altitud elevada y las de las zonas más bajas. Por otro lado se puede observar que la distribución mensual se extrema en la Costa, siendo el incremento intermensual en la Costa de hasta 92 mm/mes entre junio y enero y solo 42 mm en la Sierra.

La **precipitación total promedio** multianual para el periodo estudiado es superior a **500 mm**, presentando tanto una variabilidad anual como zonal, que concentra los valores más elevados en los meses de enero a marzo y los más bajos de junio a agosto. De la misma manera hay una variabilidad zonal, siendo las cuencas de cabecera las que mayores registro de precipitación registran frente a las de desembocadura, que reúnen los valores más bajos.

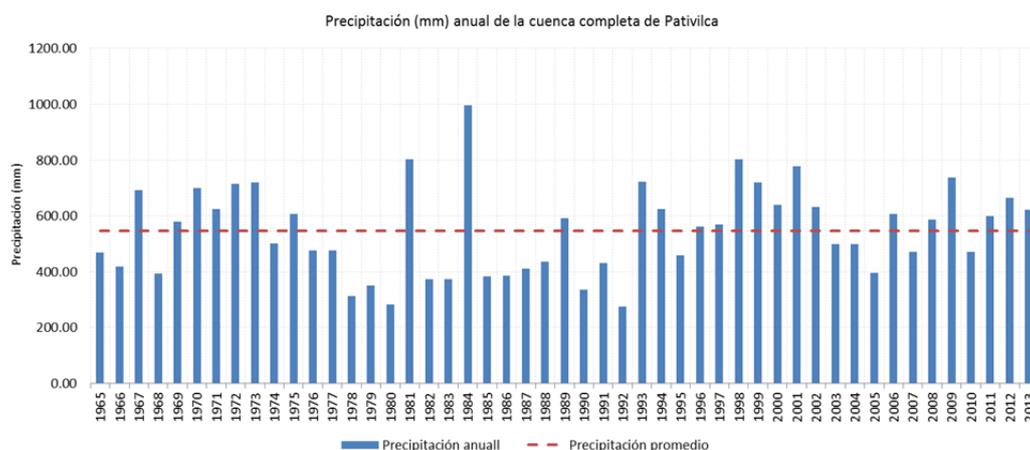


Figura 6. Evolución de la precipitación anual promedio (total de estaciones)

4.2. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO Y DISPONIBILIDAD HÍDRICA

El análisis lluvia – escorrentía se ha realizado con la herramienta WEAP del Stockholm Environment Institute (2013) a partir de los datos climáticos, con el objetivo de conocer el volumen de escurrimiento de cada subcuenca. Para ello se emplean catchments o elementos de precipitación–escorrentía–evapotranspiración. Estos catchments pueden funcionar como elementos de lluvia escorrentía directa, en suelos poco retentivos o teniendo en cuenta la parte de flujo subterráneo en suelos con mayor capacidad de retención. El método empleado para la estimación de la escorrentía y flujo subterráneo es *Rainfall Runoff Method (Soil Moisture Method)*.

Con el módulo de precipitación – escorrentía de WEAP se ha construido el **modelo calibrado**, que genera una serie de caudales en régimen alterado puesto que los datos disponibles en las estaciones hidrométricas usadas para calibrar registran series de caudales reales, es decir, alterados por la gestión del sistema. Durante el proceso de calibración se modifican los parámetros para ajustar los caudales simulados a los observados en dichas estaciones y la gestión de los embalses que hay en el sistema, puesto que ésta interfiere en el flujo del caudal circulante por los cauces.

La construcción del modelo se realiza con la selección de los componentes del mismo: Precipitación, pérdidas, parámetros de caracterización de la respuesta hidrológica de las subcuencas, topología, resolución, etc. La calibración permite el ajuste de los parámetros del modelo durante un periodo por comparación entre valores simulados y los caudales reales medidos u observados en estaciones hidrométricas. La validación se realiza mediante la comprobación de la capacidad predictiva del modelo aplicando los parámetros de la calibración durante un periodo diferente al empleado para ésta.



Figura 7. Esquema conceptual del modelo

La cuenca del río Pativilca se ha subdividido en 21 subcuencas. Para la subdivisión de dichas subcuencas se realizó un análisis previo de las características topográficas, geológicas e hidrológicas. El modelo hidrológico describe el comportamiento de la cuenca de manera semidistribuida en subcuencas”.

En la cuenca alta del río Pativilca, encontramos un número considerable de nevados que representan una superficie significativa con respecto a las subcuencas en las que se encuentran, por lo tanto serán objeto de modelación. Están localizados principalmente en la divisoria norte y este de la cuenca, en la cordillera de Huayhuash, por encima de los 6 000 msnm de altitud y alimentan a las lagunas glaciares en la cabecera de las quebradas tributarias de los ríos Pativilca, Achín y Rapay. El punto más elevado es el nevado Yerupajá de 6 617 msnm.

En cuanto a las lagunas represadas, actualmente, 3 de ellas presentan regulación en su recurso, por lo que en el modelo hidrológico ha sido necesaria su inclusión. Estas son: Yanacocha Grande y Chonta Alta, situada en la cabecera del río Huanchay y Viconga, en la cabecera del Rapay, al pie de los nevados Araraj y Cóndor. Se ha incluido una presa de la que su construcción está planteada a futuro, situada en el tramo Medio-Alto Pativilca.

Los manantiales en la cuenca de Pativilca corresponden a manantiales de respuesta rápida o afloramientos de aguas sub-superficiales.

En cuanto a las centrales hidroeléctricas en activo son: C. H. Roncador, CH Cahua, CH Gorgor, CH Ocros, CH Pacarenca, CH San Judas Tadeo ICM, CH Yanapampa y Reservorio Viconga.

Además, el modelo incluye el reservorio Viconga, en la cabecera del Rapay, en cuya subcuenca se ha calculado la oferta en régimen natural. Se trata de un reservorio de 30 hm³ de capacidad máxima, con 25 hm³ de embalse muerto, para uso hidroeléctrico. Desembalsa agua en los meses de estiaje para que la central hidroeléctrica de Cahua situada a más de 60 km de distancia disponga de caudales suficientes en los meses de estiaje.

Por último, también es esencial incluir los 3 trasvases de la cuenca, del río Pativilca a las subcuencas de Supe y Fortaleza. De aguas arriba a aguas abajo son: Derivación Supe, Derivación Fortaleza y Derivación Supe Costa.

Se introducen los **datos climáticos** de temperatura media mensual y precipitación acumulada mensual en el periodo de estudio de 1965 - 2013 y para cada subcuenca modelada.

Los elementos que forman parte del esquema del modelo para el proceso de distribución de agua (topología) son los siguientes:

- Captaciones (Catchment): Representan el área colectora de la precipitación, la cual genera una escorrentía superficial que adiciona un caudal determinado hacia los ríos. En total 21, correspondientes a cada una de las cuencas.
- Río (River): Lo constituyen el río Pativilca como río principal y los ríos secundarios: Anchín (tributario de Pativilca) y Rapay/Pumarinri (tributario de Pativilca), Huayllapa y Cuchichaca (tributarios de Rapay), Gorgor (tributario de Pativilca), Huanchay/Ocros (tributario de Pativilca) y río semiindependiente al norte de la parte baja de la cuenca.
- Estaciones Hidrométricas (Streamflow Gauge): Lo constituyen las estaciones de hidrométricas 202401 (Alpas) que cuenta con registros de caudales medios mensuales a lo largo del periodo 1964-1975 y 8 años completos, la estación 202402 (Alpas y Tomas Altas) que posee registros de caudal durante el periodo 1968-1975 y 6 años completos y la estación 202403-1 (Puente Yanapampa I) que dispone de registros de caudal en el periodo 1965-2009 y 38 años completos. A partir de 2010 se relocaliza esta estación. Con esta nueva ubicación (202403-2, Puente Yanapamapa II) se dispone de 3 años completos: 2010, 2012 y 2013. El resto de estaciones hidrométricas no se emplearán tal y como se justificó en el apartado 3.6. Hidrología superficial.
- Acuíferos (Groundwater): Representan la masa de agua subterránea que discurre por el fondo de valle aluvial, formado por los depósitos de sedimentos fluviales, situado en desembocadura, de gran potencia y forma típica de abanico. En el esquema del WEAP se ha incluido el acuífero localizado en la parte baja de la cuenca de Pativilca.
- Reservorios (Reservoir): En el esquema del modelo de gestión de recursos del sistema Pativilca se han incluido 3 lagunas represadas: Yanacocha Grande y Chonta Alta, situada en la cabecera del río Huanchay y Viconga, en la cabecera del Rapay. Se ha modelizado también un nuevo reservorio situado en la cuenca del Medio-Alto Pativilca del que su construcción se ha planteado a futuro.
- Centrales Hidroeléctricas (River Hydro): Lo constituyen 7 Centrales Hidroeléctricas: C. H. Roncador, CH Cahua, CH Gorgor, CH Ocros, CH Pacarenca, CH San Judas Tadeo ICM y CH Yanapampa.
- Trasvases (Diversion): En el modelo se han incluido los 2 trasvases de la cuenca, del río Pativilca a las subcuencas de Supe y Fortaleza, correspondientes a los canales de Paramonga y de Barranca, Supe y San Nicolás. Los canales de derivación para riego y abastecimiento tanto poblacional

como industrial se han incluido en el modelo, éstos quedan en la zona baja de la cuenca y son, en orden descendiente, Canal de la Vega Otopongo, Canal de irrigación Pativilca, Canal Huayto, Canal Vinto, Canal Matriz Barranca y Canal Galpón.

- Requisitos de flujo (Flow Requirement): En el esquema del modelo se ha incluido el Desembalse Viconga, y los de las centrales hidroeléctricas de Cahua, Gorgor, Ocross, Pacarenca, San Judas y Yanapampa. Se ha representado en el modelo el requisito de flujo para el nuevo reservorio en la cuenca del Medio-Alto Pativilca, pero no se le ha dado valores ya que depende de la construcción de la nueva estructura.

La **calibración** y **validación** del modelo se ha realizado con las estaciones hidrométricas disponibles con datos suficientes.

Zona	Estaciones calibración/validación		
	Estaciones	Período Calibración	Período Validación
Río Pativilca tras confluencia con río Huanchay	202401-Alpas	1972-1974	1965-1970
Río Pativilca tras confluencia con río Huanchay	202402-Alpas y Tomas Altas	1968-1970	1971-1975
Río Pativilca tras confluencia con el río que discurre al Norte del Bajo Pativilca 1972	202403-1-Puente Yanapampa I	1965-1983	1984-2009

Tabla 2. Estaciones y periodo de calibración y validación

La precisión de los modelos se ha analizado con los índices de Nash-Sutcliffe, BIAS y el coeficiente de correlación.

Estación	Eficiencia de Nash-Sutcliffe				BIAS		Coeficiente de correlación	
	Calibración		Validación		Calibración	Validación	Calibración	Validación
202401-Alpas	0,88	Excelente	0,76	Muy Bueno	16,14%	29,19%	0,96	0,95
202402-Alpas y Tomas Altas	0,92	Excelente	0,79	Muy Bueno	6,46%	10,91%	0,96	0,90
202403-1-Puente Yanapampa I	0,67	Muy Bueno	0,25	Satisfactorio	0,21%	21,02%	0,84	0,76

Tabla 3. Estadísticos obtenidos para el periodo de calibración y validación. Modelo hidrológico de Pativilca. Fuente: Elaboración propia.

Con los valores obtenidos en el periodo de calibración y la comprobación del correcto funcionamiento de los indicadores en el periodo de validación se dio por administrados los parámetros que caracterizan la respuesta de la cuenca.

Una vez obtenidos los parámetros que permiten disponer de una escorrentía que en régimen alterado, se genera un modelo en régimen natural. Este modelo hidrológico dispone de los mismos datos climáticos y los parámetros obtenidos en la calibración pero **sin elementos que alteren el flujo artificialmente**. Es por ello que se eliminan las demandas y sus retornos, los trasvases y los embalses. Se considera que la evaporación de las lagunas y las filtraciones son naturales y se mantienen sin intervención de la mano del hombre.

Con este modelo hidrológico en régimen natural se generan una serie de caudales que será la oferta considerada en el modelo de gestión.

A continuación se presenta como resultado, los caudales promedios obtenidos en régimen natural, los caudales específicos, las aportaciones anuales propias de cada subcuenca y las acumuladas en su punto de desagüe.

Subcuenca	Área propia (km ²)	Área acumulada (m ³ /s)	Caudal promedio propio (m ³ /s)	Caudal promedio acumulado (m ³ /s)	Aportación propia (hm ³ /a)	Aportación acumulada (hm ³ /a)
SC01-Alto Pativilca	747,40	747,40	13,89	13,89	438,38	438,38
SC02-Achín	282,60	282,60	6,13	6,13	193,42	193,42
SC03-Medio Alto Pativilca	573,80	1 603,80	6,61	38,37	208,74	1 210,96
SC04-Huayllapa en Toma Huayllapa	127,30	127,30	3,08	3,08	97,27	97,27
SC05-Laguna Viconga	40,80	40,80	0,93	0,93	29,26	29,26
SC06-Pumarinri en E.A. Pumarinri	134,80	175,60	2,36	3,28	74,34	103,61
SC07-Rapay h/Cajatambo (Cuchichaca)	166,60	469,50	2,52	10,50	79,46	331,40
SC08-Cajatambo (Cuchichaca)	127,80	127,80	1,62	1,62	51,07	51,07
SC09-Rapay completo	135,90	733,20	1,24	11,74	39,02	370,42
SC10-Medio Pativilca	48,40	2 385,40	0,21	46,57	6,52	1 469,70
SC11-Gorgor	561,60	561,60	7,99	7,99	252,22	252,22
SC12-Pativilca en E.A. Cahua	21,70	2 968,70	0,09	46,66	2,83	1 472,53
SC13-Pativilca en E.A. Puente Yanapampa II	357,60	3 326,30	1,19	47,85	37,51	1 510,04
SC14-Medio Bajo Pativilca	112,50	3 438,80	0,22	48,08	7,08	1 517,12
SC15-Huanchay b/Racrac	216,60	216,60	2,50	2,50	78,78	78,78
SC16-Huanchay completo	257,40	474,00	0,70	3,20	22,11	100,89
SC17-Pativilca en EA Alpas	170,10	4 082,90	0,30	51,57	9,37	1 627,38
SC18-Pativilca en E.A. Alpas y Tomas Altas	17,80	4 100,70	0,01	51,58	0,24	1 627,62
SC19-Pativilca en EA Yanapampa I	83,90	4 184,60	0,00	51,58	0,12	1 627,74
SC20-Subcuenca norte B. Pativilca	173,00	173,00	0,02	0,02	0,60	0,60
SC21-Pativilca completo	234,10	4 591,70	0,01	51,61	0,16	1 628,50

Tabla 4. Resumen de caudales y aportaciones anuales por subcuenca en régimen natural. Período 1965-2013. Modelo hidrológico de Pativilca. Fuente: Elaboración propia.

La figura siguiente muestra la aportación total anual del río Pativilca.

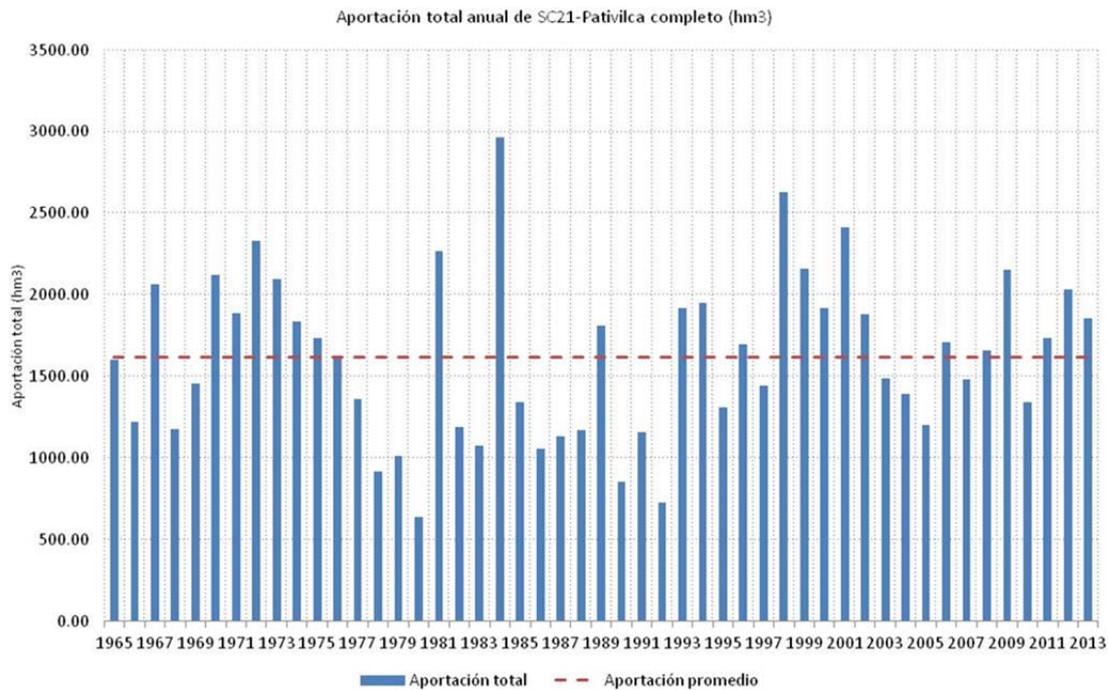


Figura 8. Aportación acumulada anual de la cuenca del río Pativilca. Período completo: 1965-2013. Modelo Hidrológico Pativilca.
Fuente: elaboración propia

La comparación de la aportación total anual año a año con el promedio de las aportaciones anuales (línea roja) permite diferenciar entre años más secos (con totales por debajo de la media) y húmedos (por encima de ésta), así como la detección de periodos de marcadas sequías, como son los años 1980 y 1992.

4.3. CAMBIO CLIMÁTICO

El objetivo del estudio de cambio climático es la obtención de series de caudales mensuales en los puntos finales de las subcuencas en que se divide el ámbito del estudio, para el escenario de cambio climático seleccionado de los definidos en el Quinto Informe de IPCC.

En la siguiente figura se muestra la distribución mensual del año medio con y sin efectos del Cambio Climático, en la desembocadura del río Pativilca.

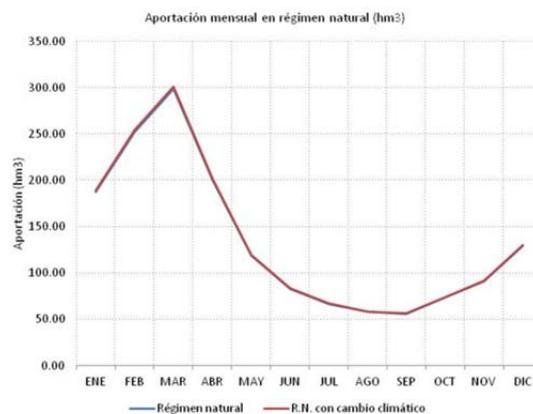


Figura 9. Distribución de la aportación mensual del año medio (hm³) en régimen natural (RN) y régimen natural con los efectos del Cambio Climático (RN con CC). Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la imagen los únicos meses con un ligero cambio son enero, febrero y marzo. La variación de aportación mensual en régimen natural entre el escenario actual y el escenario futuro incluido el impacto del Cambio Climático es mínima. Los máximos incrementos de aportación en los citados meses alcanzan $145,77 \text{ hm}^3$, esto es un 1,628 % respecto de la situación actual. Por lo cual se concluye que el impacto producido por el Cambio Climático no es significativo en esta cuenca según las conclusiones del 5º informe del IPCC.

5. HIDROGEOLOGÍA

El principal acuífero, donde se concentra la explotación de agua subterránea a través de pozos, es el acuífero detrítico no consolidado aluvial que se extiende aguas arriba por los valles de Pativilca, Supe y Fortaleza, constituyendo un único acuífero, con su máximo desarrollo en los conos de deyección de los ríos mencionados, que se extiende además por las intercuenas 137579 y 137591, sin cursos fluviales permanentes.

La geometría del acuífero queda definida por rocas pre- cuaternarias que constituyen el sustrato impermeable y por los materiales permeables definidos como depósitos detríticos no consolidados de origen eólico y marino.

La piezometría realizada a partir de los trabajos de campo en abril de 2015, así como los perfiles transversales al río en el depósito distal, cercano a la desembocadura, indican que se trata de un acuífero libre y superficial dentro de los límites del área de estudio. El acuífero cede agua al río en la parte baja de su recorrido, pues el nivel freático en las terrazas elevadas del río Pativilca, se localiza por encima de la cota de base del río en el perfil transversal, por lo que las isopiezas se deforman aguas arriba, indicando que el río funciona como efluente o río ganador.

La recarga del acuífero en el área de estudio se produce fundamentalmente por la infiltración de las lluvias en la cuenca alta, a través de transferencias subterráneas circulantes a través de los materiales que constituyen el aluvial del río Pativilca, a su entrada al ámbito territorial del acuífero en la zona de estudio. Los retornos de las demandas servidas, fundamentalmente de riego, también contribuyen a la recarga.

La descarga se produce hacia el propio río en aquellos tramos efluentes, principalmente el tramo final del río Pativilca, o hacia el mar por la porción de límite abierto situada en el extremo occidental del acuífero y por bombeos de los pozos de extracción.

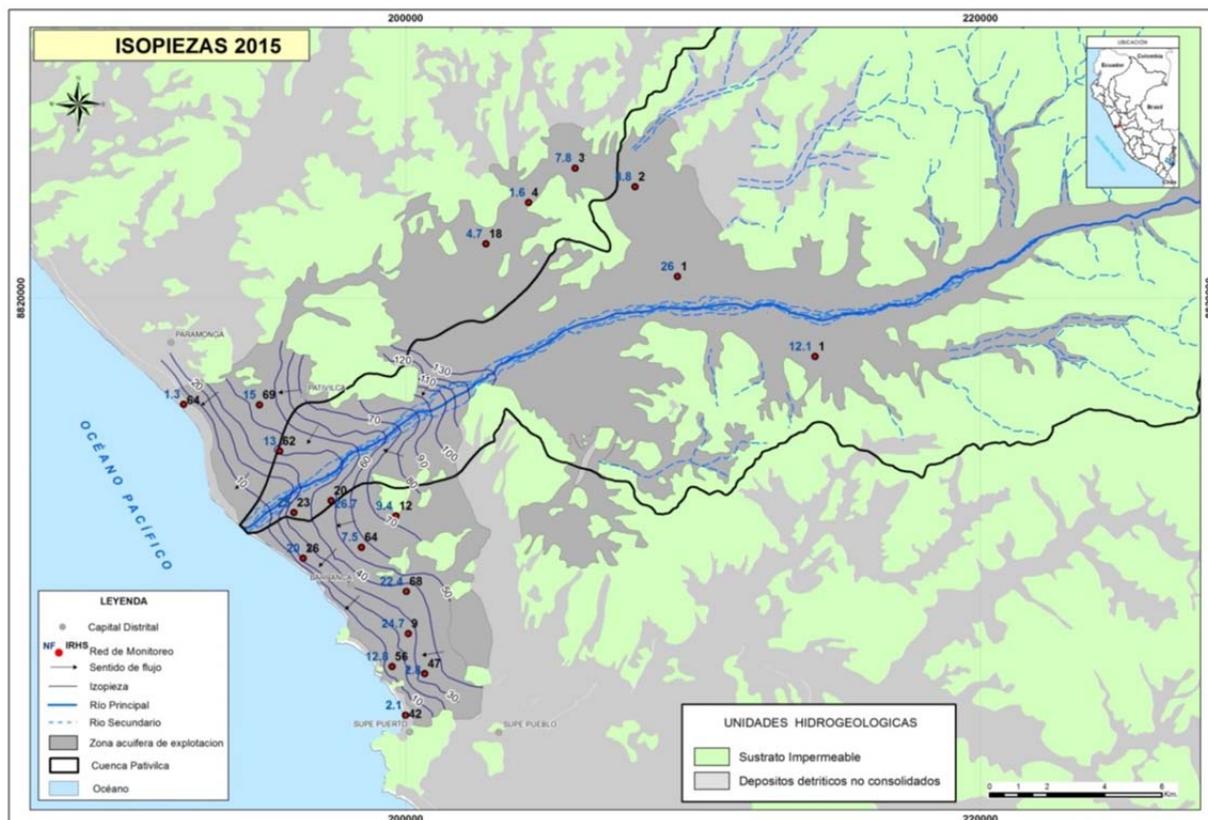


Figura 10. Mapa de isopiezas 2015, acuífero agrícola de Pativilca Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al control del acuífero, la red piezométrica del valle de Pativilca está conformada por 45 pozos. Respecto al control periódico del acuífero, se considera que la red piezométrica no es del todo representativa, en relación a la profundidad de los pozos. Se propone la red de control complementaria conformada por 19 pozos, en la que se han realizado los trabajos de campo complementarios. Esta red permitiría un control más frecuente del acuífero.

Respecto a la hidrogeoquímica de las aguas subterráneas, predominan los tipos bicarbonatada cálcica, excepto en Supe Puerto, donde el 50 % pertenece a la familia Bicarbonatada Sódica y 50% que pertenece a la Sulfatada Sódica.

Son aguas en general de mineralización moderada a alta, siendo permisibles o localmente de dudosa calidad para el riego En Barranca. Parece que el aumento de profundidad de los pozos se traduce en una mayor mineralización del agua. A partir de datos de conductividad y pH de pozos profundos, se puede estimar que el espesor saturado del horizonte explotable con aguas de buena a aceptable calidad es inferior a 50 metros.

6. USOS Y DEMANDAS

La Ley N° 299338, de Recursos Hídricos clasifica los usos del agua en tres tipologías básicas:

- **Uso primario**, consistente en la utilización directa y efectiva del recurso hídrico en las fuentes naturales y cauces públicos, con el fin de satisfacer las necesidades humanas primarias. Comprende el uso del agua para la preparación de alimentos, consumo directo y aseo personal; así como su uso en ceremonias culturales, religiosas y rituales.
- **Uso poblacional**, consistente en la captación del agua de una fuente o red pública, debidamente tratada, con el fin de satisfacer las necesidades humanas básicas como preparación de alimentos y hábitos de aseo personal.
- **Uso productivo**, consistente en la utilización del recurso hídrico en procesos de producción o previos a los mismos. Dentro de esta tipología se incluyen los usos agrarios (pecuario y agrícola), acuícola y pesquero, energético, industrial, medicinal, minero, recreativo, turístico y de transporte

En el Estudio realizado se han identificado las siguientes **demandas actuales**:

La **demanda poblacional** en la cuenca se encuentra concentrada en la zona costera, aunque en la cuenca alta existen algunos poblados importantes, sin embargo, la mayoría de información oficial de demandas se encuentra localizada en la cuenca baja. Entre los principales operadores del servicio de agua potable en la cuenca tenemos:

- Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Barranca (SEMAPA) que opera en los ámbitos de Barranca y Puerto Supe
- Empresa Municipal de Agua Pativilca (EMAPAT SAC) que opera en el distrito de Pativilca
- Municipalidades de Gorgor y Llipa, que ejercen de operadores de la red de suministro poblacional.

También la cuenca Pativilca por medio de canales de trasvase, provee de recursos hídricos para las demandas poblacionales de las cuencas colindantes.

La **demanda agrícola** es atendida por la Junta de Usuarios del Valle de Pativilca, conformada por 16 Comisiones de Usuarios. Además en la zona de cuenca alta se identifica agrupaciones de riego existentes (11)

La **demanda acuícola** ha sido identificada en dos explotaciones acuícolas en la cuenca alta del Pativilca (criaderos de truchas), aunque dichos usos de agua no están registrados en la actualidad como aprovechamientos formales por la ANA ni se tiene conocimiento de los volúmenes de explotación utilizados.

Existen 05 **demandas hidroenergéticas** de las cuales 3 están ubicadas en el río Pativilca cuyos Usuarios son las centrales hidroeléctricas Rocador, Cahua y San Judas Tadeo (Pachapaqui), otra demanda localizada en el Río Ocros, siendo el usuario la central hidroeléctrica Ocros (ADINELSA) y la última demanda no se encuentra localizada en un cuerpo natural de agua, sino hace uso del caudal de trasvase del canal Irrigación Pativilca hacia la cuenca Supe.

La **demanda industrial** no se encuentra localizada en el ámbito de la cuenca, sino que abastece a las cuencas contiguas mediante trasvases, a través de los canales Paramonga (Cuenca Fortaleza) e Irrigación Pativilca (Cuenca Supe), todas estas demandas tienen como fuente principal el Río Pativilca.

Las **demandas mineras** se encuentran localizadas en la parte alta de la cuenca, donde las empresas Santa Luisa y Pachapaqui captan aguas de la quebrada Llamac y del río Pativilca respectivamente.

Se ha identificado una **demanda de tipo recreacional** asociado a los restos arqueológicos de Caral, la cultura pre-inca conocida más antigua de Suramérica, cuyos vestigios son un atractivo turístico de primer orden en la cuenca.

En cuanto a las demandas futuras (donde se ha considerado para un horizonte de 20 años) se tiene:

- **Demandas agrícolas**, destaca el proyecto de ampliación de la zona regable en el valle Pativilca con 8 000 ha nuevas y la mejora de las 27 000 ha existentes en la actualidad, con el afianzamiento de las lagunas Jurao y Pishcapaccha en la cuenca alta del río Pativilca, con lo que se alcanzaría un almacenamiento de 120 hm³ de capacidad máxima. La demanda futura se calcula con el módulo de riego medio actual (20 252,5m³/ha año) aplicado sobre las nuevas hectáreas bajo riego (8 000ha), cuyo resultado es una demanda nueva de 162,02 hm³/año.
- **Demandas mineras**, se conoce la existencia de prospecciones mineras en el entorno de la laguna Conococha (en el límite entre las cuencas de los ríos Fortaleza, el río Santa y el río Pativilca). Sin embargo no hay concesiones mineras previstas en la cuenca Pativilca que impliquen nuevas demandas de recursos hídricos.
- **Demanda poblacional**, ha sido estimada con datos oficiales de proyección de crecimiento futuro (INEI).
- **Otras demandas**, los Planes Regionales consultados (de la Región de Lima y del Departamento de Ancash) no indican nuevas implantaciones industriales o hidroenergéticas en la cuenca Pativilca, así como tampoco nuevas demandas por motivos de turismo o recreativos. Por lo cual se supone el agotamiento a futuro de los volúmenes máximos de las licencias de agua otorgadas por la ANA.

La tabla siguiente compara las demandas actuales con las futuras a 2035 agrupadas según su uso.

Demanda	Escenario	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Volumen (hm ³ /año)
Poblacional	Actual	0,913	0,829	0,913	0,886	0,918	0,889	0,913	0,912	0,886	0,912	0,889	0,917	10,8
	Futura	1,103	1,002	1,103	1,071	1,109	1,074	1,103	1,101	1,071	1,101	1,074	1,108	13,0
Agrícola	Actual	52,0	58,1	57,7	52,4	47,9	34,6	30,8	34,4	41,4	58,1	50,5	55,3	574,2
	Futura	67,75	77,87	76,43	66,41	58,04	41,45	38,23	42,91	53,43	74,24	66,21	72,25	736,22
Industrial	Actual	0,980	0,891	0,980	0,950	0,980	0,950	0,980	0,980	0,950	0,980	0,950	0,980	11,46
	Futura	1,346	1,259	1,346	1,317	1,346	1,317	1,346	1,346	1,317	1,346	1,317	1,346	15,96
Minera	Actual	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,33
	Futura	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,42
Hidroenerg	Actual	31,02	31,03	31,02	31,03	31,02	31,03	31,02	31,03	31,02	31,02	31,03	31,02	372,3

Demanda	Escenario	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Volumen (hm ³ /año)
ética	Futura	31,02	31,03	31,02	31,03	31,02	31,03	31,02	31,03	31,02	31,02	31,03	31,02	372,3
Recreativa	Actual	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,077
	Futura	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,077
Total Cuenca	Actual	84,9	90,9	90,6	85,3	80,9	67,5	63,7	67,4	74,3	91,0	83,4	88,3	969,2
	Futura	101,3	111,2	109,9	99,9	91,6	74,9	71,7	76,4	86,9	107,7	99,7	105,8	1 138,0

Tabla 5. Demanda actual y futura para los distintos usos existentes en la cuenca. Fuente: INEI, Proinversión GR Lima 2014.

7. DERECHOS DE USO DE AGUA

En resumen, en la cuenca Pativilca existen un total de 5 756 derechos de uso de agua, los cuales otorgan un volumen total de agua de 1 704,4 hm³, de los cuales 637,8 hm³ son para uso consuntivo y los restantes 1 066,6 hm³ para uso no consuntivo (hidroenergético).

Se presenta la siguiente tabla con la distribución de los derechos de uso y los volúmenes otorgados según el tipo de uso (consuntivo):

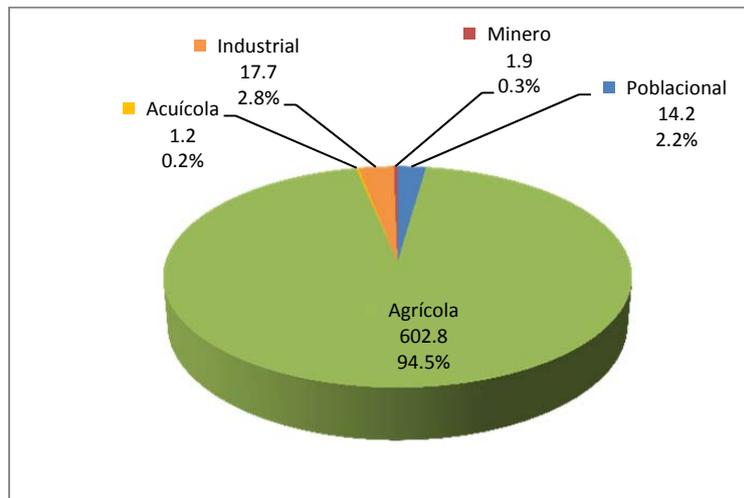


Figura 11. Volúmenes bajo derechos de uso de agua (consuntivos) existentes en la cuenca. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Derechos de Uso Agrarios-Usos No Agrarios, ANA, 2014.

8. CAUDAL ECOLÓGICO

Los criterios definidos para la determinación de los caudales ecológicos se basan en el Informe Técnico N° 023-2012-ANA-DCPRH-ERH-SUP-GTP, el cual propone con carácter provisional hasta que la ANA apruebe el Reglamento de Determinación del caudal ecológico, para cursos con caudales medios anuales:

- menores o iguales de 20 m³/s, el caudal ecológico será como mínimo el 10% del caudal medio mensual en la época de avenida, y 15% en época de estiaje.
- mayores de 20 m³/s y menores o iguales a 50 m³/s, el caudal ecológico será como mínimo el 10% del caudal medio mensual en época de avenida, y 12% en la época de estiaje.
- mayores a 50 m³/s, el caudal ecológico corresponderá al 10% del caudal medio mensual para todos los meses del año.

Se han identificado 11 tramos de estudio prioritario, dando prioridad tanto a aquellas zonas con mayor relevancia ambiental, como a aquellas con mayor afección antrópica por estar ubicadas aguas abajo de grandes represas o derivaciones que puedan condicionar las asignaciones y reservas de recursos en la cuenca.

Los caudales ecológicos así determinados en los puntos prioritarios identificados son:

TRAMO	CAUDAL ECOLÓGICO (m ³ /s)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Pativilca-01	2,0	2,7	2,7	2,7	1,6	1,2	1,0	0,9	1,0	1,4	1,8	2,3
Pativilca-03	5,4	7,9	8,2	6,9	3,9	2,7	2,0	1,8	1,8	2,5	3,3	4,6
Huanchay-15	0,3	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Rapay-05	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Gorgor-17	1,0	1,4	1,5	1,7	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	1,1
Huanchay-16	0,4	0,7	0,8	0,7	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4
Pativilca -13	6,5	9,6	10,2	8,6	4,9	3,6	2,8	2,4	2,4	3,1	4,0	5,5
Pativilca-14	6,6	9,7	10,2	8,7	5,0	3,6	2,8	2,4	2,4	3,1	4,0	5,5
Pativilca-17	7,0	10,4	11,1	7,8	4,4	3,2	2,5	2,2	2,2	2,8	3,5	4,8
Pativilca-19	7,0	10,4	11,2	7,8	4,4	3,2	2,5	2,2	2,2	2,8	3,5	4,8
Pativilca-21	7,0	10,4	11,2	7,8	4,4	3,2	2,5	2,2	2,2	2,8	3,5	4,8

Tabla 6. Resultados de los caudales ecológicos mensualizados en los tramos prioritarios

9. BALANCE HÍDRICO

9.1. MODELO DE GESTIÓN

El balance hídrico se ha realizado mediante un modelo de gestión que simula el funcionamiento mensual de la cuenca en los 49 años de oferta natural obtenida en el estudio hidrológico. El modelo se ha desarrollado sobre la base del software WEAP, el más conocido en el Perú.

El modelo de gestión maneja los datos de oferta y demanda mensualizadas, infraestructura hidráulica (reservorios, acuíferos canales o centrales hidroeléctricas) y reglas de operación del sistema (prioridades entre demandas, reservorios, canales y caudales ecológicos) al nivel de desagregación exigido por los TdR para la realización de los balances. Este es, como mínimo, el de unidades hidrográficas menores, entendiendo como tales a las de Pffasfstetter de un orden superior al de la cuenca completa.

Con los resultados obtenidos, para poder evaluar la satisfacción de las demandas es necesario definir **criterios de confiabilidad** numéricos que permitan medir la capacidad de la cuenca para satisfacer las demandas en un momento dado:

- Confiabilidad del servicio de las demandas **en el tiempo**:
 - Demandas **agrícolas**:
 - Confiabilidad **anual**: es el porcentaje de años sin fallo con respecto al número total de años simulados. Se considera fallo si el déficit anual es superior al 20% de la demanda anual. La confiabilidad anual es aceptable si es superior al 75%.
 - Confiabilidad **mensual**: es el porcentaje de meses sin fallo con respecto al número total de meses con demanda mensual no nula en todo el periodo simulado. El umbral de fallo es el déficit mensual superior al 20% de la demanda mensual. La confiabilidad mensual es aceptable si es superior al 90%.
 - Demandas **poblacionales, industriales, mineras, energéticas y recreativas**: la confiabilidad se valora con criterio **mensual**, con umbral del 10% para considerar mes fallado. El límite de aceptabilidad de la confiabilidad es del 100%.
- Confiabilidad **Volumétrica**: volumen servido / volumen demandado. El nivel exigible para las demandas agrícolas es del 90% y para las poblacionales e industriales es del 95%

Los criterios de prioridad de usos considerados en la Ley N° 29338 de Recursos Hídricos establecen el **orden preferencial** por el que los recursos son asignados a las demandas en función del uso al que esté destinado, y en caso de conflicto o competencia por el recurso, y son:

Uso	Prioridad en modelo WEAP
Poblacional	1
Ecológico	2
Agrícola	3 a 6 (según orden de toma)
Energético	7
Industrial	8
Minero	9
Recreativo	10

Tabla 7. Prioridades según tipo de uso en el modelo de gestión.

En el caso de las demandas agrícolas, se ha asignado mayor prioridad a las demandas ubicadas en afluentes del río principal, puesto que es sabido que son las primeras en tomar el recurso que necesitan independientemente de las demandas de aguas abajo que toman del río principal. De ahí que la demanda agrícola presente una variación de prioridades entre 3 y 6.

El esquema completo del modelo se representa en la figura 12. Incluye la futura presa para la irrigación del Valle del Pativilca y otra presa sin características definidas y sus canales alimentadores que se activan en los escenarios futuros. El montaje del modelo se realizó partiendo del esquema desarrollado en la fase de recopilación de datos y posteriormente aceptado por la ANA, que se representa en la figura adjunta, complementado con la información procedente del inventario de demandas, canales, bocatomas, presas y otras representadas en un SIG.

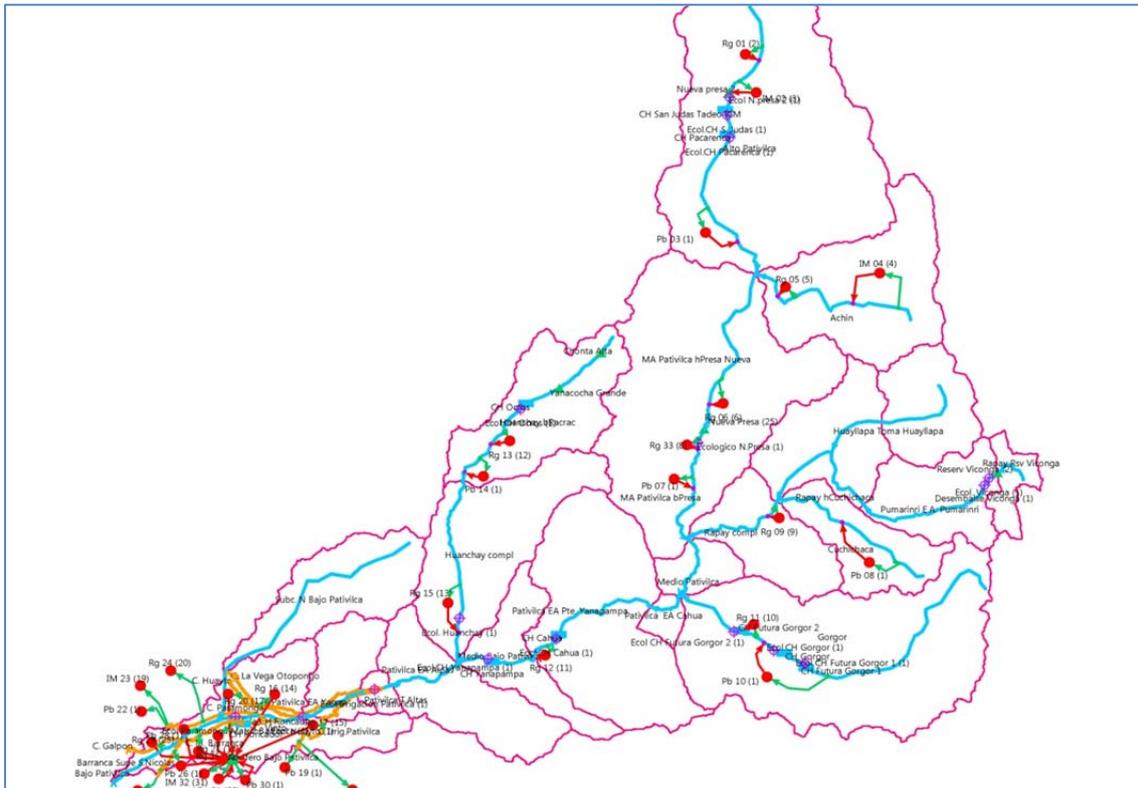


Figura 12. Esquema del modelo de gestión Fuente: elaboración propia

Las 57 demandas detectadas en el inventario —excluyendo las de uso energético que se representan como centrales hidroeléctricas— se han agrupado por su uso en 35 nudos de demanda, 10 de demandas poblacionales, 18 de agrícolas y 5 de industriales y mineras. La captación se realiza a través de conectores de transferencia de WEAP en los puntos de río o canales más representativos de la oferta disponible para atender las demandas.

El acuífero del Bajo Pativilca, que se extiende en toda la zona de la desembocadura, y subyace al tramo inferior, se representa como un acuífero único con la metodología simplificada de WEAP.

Además, el esquema del modelo representa explícitamente 9 canales de capacidad significativa, para reflejar con la mayor fidelidad posible el esquema hidráulico de la cuenca.

Los resultados del modelo de gestión se analizan tanto en la cuenca completa como en los subsistemas de gestión que la componen. En el caso que nos ocupa, estos subsistemas son:

Subsistema	Subcuencas incluidas	Explicación
Medio Alto Pativilca	01, 02, 03	Cabecera Pativilca hasta UH Medio Pativilca
Rapay	04, 05, 06, 07, 08, 09	UH Rapay
Gorgor	11	UH Gorgor
Medio Bajo Pativilca (hasta Huanchay)	10, 12, 13, 14	UH Medio Bajo Pativilca
Huanchay	15, 16	UH Huanchay
Bajo Pativilca	17, 18, 19, 20, 21	UH Bajo Pativilca

Tabla 8. Subsistemas definidos para análisis de balance y subcuencas incluidos en cada uno. Fuente: elaboración propia.

9.1. BALANCE DE LA CUENCA EN LA SITUACIÓN ACTUAL

Para el análisis del balance de la cuenca en situación actual se considera como **oferta de agua** las series mensuales de aportaciones naturales en todas las subcuencas representadas en el modelo se han obtenido con el modelo hidrológico planteado. La oferta de agua subterránea está considerada en el modelo hidrológico a través de la infiltración profunda.

La oferta total anual de agua y media mensual de las cuencas completa del río Pativilca considerada en el modelo se representan en las 2 figuras siguientes:

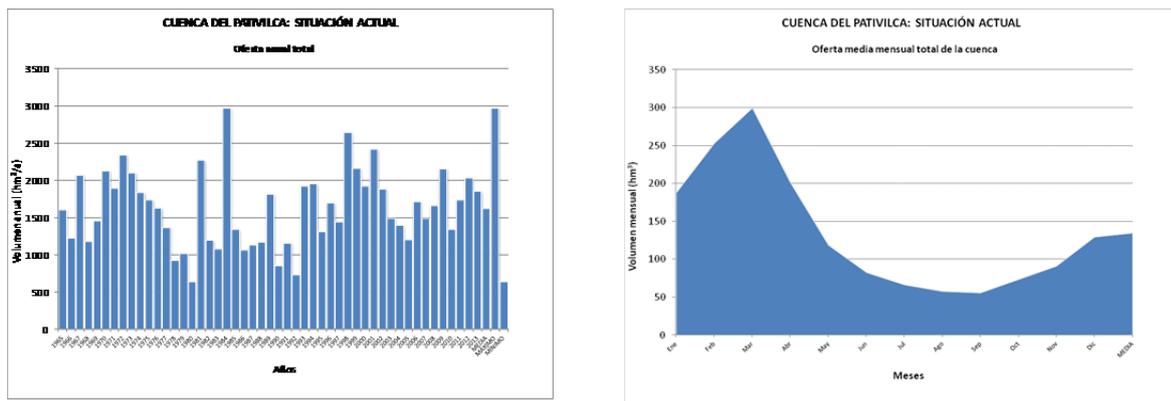


Figura 13. Oferta natural anual y media mensual de la cuenca. Periodo 1965-2013. Fuente: elaboración propia

La figura 14 resume la demanda actual por tipo de uso de la cuenca y refleja lo que indica la tabla anterior. La escasa magnitud de las demandas poblacionales e industriales y mineras —10,8 y 13,4 hm³/a, respectivamente— en comparación con las agrícolas —573,2 hm³/a—.

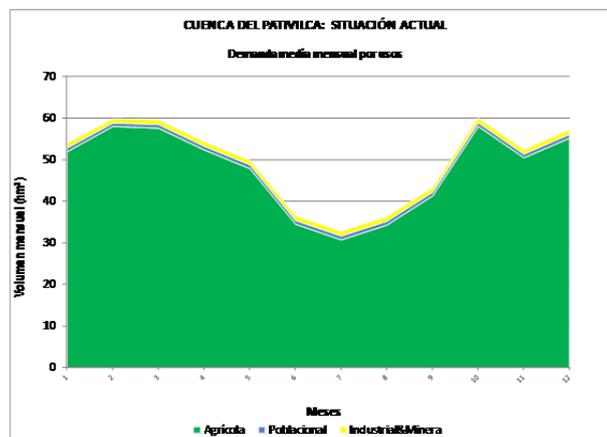


Figura 14. Demanda mensual actual de agua aplicada en el modelo. Fuente: elaboración propia.

Con las agrícolas, de mayor magnitud, se ha intentado minimizar el error. En esta cuenca no hay problema de este tipo, ya que las mayores demandas se concentran en el tramo bajo del Pativilca, donde la producción hídrica es muy pequeña y, por tanto, la agrupación de demandas no implica error de balance. Como consecuencia, sólo se han agregado las demandas de las Comisiones de Regantes o usuarios que captan agua del mismo canal. De todas formas, se podrían haber agrupado en un solo nudo, porque el error de balance introducido habría sido muy pequeño puesto que la oferta media de las tres últimas subcuencas es casi nula, de 0,4, 0,4 y 1,7 hm³/a, despreciables frente a los 2025 hm³/a de la cuenca.

Aunque en sentido estricto no se trata de una demanda, es conveniente presentar en este apartado los caudales ecológicos aplicados en situación actual. Para que el modelo sea realista sólo se deben aplicar en infraestructuras mayores donde hay un operador con capacidad para gestionarlo. En la situación actual de la cuenca del Pativilca se incluyen en las centrales hidroeléctricas representadas en el modelo, en bocatomas importantes y aguas abajo del reservorio Viconga.

Por otro lado, la cuenca del Pativilca no tiene infraestructura mayor que influya en los resultados del modelo de gestión y, por tanto, en el balance hídrico. La única excepción es el acuífero de Pativilca, que aunque no es una infraestructura en sentido estricto, a efectos del modelo de gestión funciona como un reservorio con capacidad de almacenar agua en los periodos húmedos para utilizarla en los secos.

Como resultados de la situación actual, se tiene:

- Las demandas poblacionales de todos los subsistemas se sirven al 100%, por su prioridad máxima, asignada en función de la exigencia del artículo 35 de la Ley de Recursos Hídricos. Las industriales y mineras y las agrícolas no tienen prioridad máxima y se sirven con confiabilidad volumétrica cercana al 100% y, en todo caso, por encima del umbral de aceptabilidad. Esto se debe a que la oferta disponible es netamente superior a la demanda, incluso en los meses de estiaje.
- El balance medio anual refleja que es evidente el superávit de oferta en la cuenca, que da lugar a la disponibilidad de agua para el servicio de la demanda, incluso en años muy secos.
- La confiabilidad de suministro de las Centrales Hidroeléctricas en la cuenca para la situación actual es en promedio el 88,8%, esta confiabilidad se ha calculado comparando el caudal medio que se obtiene del modelo de gestión en la captación de la Central Hidroeléctrica, con el caudal de diseño de dicha central.

Central Hidroeléctrica	Confiabilidad de Suministro (%)
San Judas Tadeo ICM	100,0%
CH Pacarenca	100,0%
CH Gorgor	100,0%
CH Cahua	98,3%
CH Yanapampa	99,0%
CH Ocros	80,2%
CH Roncador	44,1%
Promedio en cuenca	88,8%

Tabla 9. Confiabilidad de suministro de las Centrales Hidroeléctricas en el modelo de gestión: situación actual. Fuente: elaboración propia

Subsistema	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Ind&Minera		Retornos	Variación de reservas	Salida a aguas abajo	Salida al mar
			Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit				
Medio Alto Pativilca	833,924	0,000	0,180	0,000	5,867	0,000	0,336	0,000	3,346	0,000	830,887	0,000
Rapay	368,358	0,000	0,089	0,000	2,773	0,000	0,000	0,000	1,458	-0,102	366,852	0,000
Gorgor	250,810	0,000	0,048	0,000	2,926	0,000	0,000	0,000	1,501	0,000	249,337	0,000
Medio Bajo Pativilca	53,595	1447,076	0,000	0,000	5,230	0,000	0,000	0,000	2,615	0,000	1498,056	0,000
Huanchay	100,058	0,000	0,035	0,000	19,691	0,335	0,000	0,000	9,874	0,000	90,211	0,000
Bajo Pativilca	10,443	1588,268	9,475	0,000	524,569	11,771	10,898	0,089	0,000	0,000	-	1 053,769
Acuífero de Pativilca	3,041	0,000	0,948	0,000	0,072	0,000	2,064	0,000	175,918	0,000	-	175,874
CUENCA TOTAL	1 620,228	0,000	10,775	0,000	561,128	12,106	13,298	0,089	194,712	-0,102	1 053,769	1 229,644

Tabla 11. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes (hm³/a): situación actual. Fuente: elaboración propia.

9.2. ESCENARIOS DE APROVECHAMIENTO HÍDRICO FUTURO

Los escenarios de aprovechamiento hídrico futuro incluyen los planes de desarrollo regional y local de los que se ha obtenido información. Además, se considera la hipótesis de cambio climático según el escenario 8.5 planteado por el IPCC para la evaluación de recursos:

Los escenarios futuros incluyen desde la proyección de la demanda poblacional a nuevos proyectos de riego y ampliación de frontera agrícola, agotamiento futuro de los volúmenes de recurso hídrico otorgados para los usuarios industriales y mineros y nuevas implantaciones planificadas, como ampliación de licencia minera o entrada en explotación de nuevas centrales hidroeléctricas.

Uso	Demanda anual futura (hm ³)	Variación con situación actual (hm ³)
Poblacional	12,816	+2,045
Industrial & Minero	17,872	+4,485
Agrícola	735,244	+162,084
Total	765,932	+168,549

Tabla 12. Variación de las demandas en situación futura.

Las infraestructuras mayores simuladas son las de la situación actual, presa Viconga, y la nueva presa de 120 hm³ que se ha situado en el modelo provisionalmente —hasta disponer de datos más concretos de su estudio de viabilidad o proyecto— en la subcuenca del Medio Alto Pativilca.

La demanda de la nueva irrigación, cuya situación también se desconoce, se coloca provisionalmente aguas abajo de la nueva presa.

El régimen de explotación supuesto asigna a la nueva presa menor prioridad que al resto de las demandas menos a las agrícolas del acuífero de Pativilca, para evitar que desembalse agua para favorecer la infiltración y servir las demandas en caso de sequía. Por ello, se asigna a la nueva irrigación del Valle del Pativilca, por su situación de aguas arriba abajo, prioridad 4, mayor que la del agua embalsada 15. Sólo las demandas industriales y agrícolas del acuífero tienen prioridad más baja, de 20 y 21, respectivamente. Por lo tanto, el reservorio desembalsará agua siempre que lo necesiten las demandas de aguas abajo, excepto las industriales y agrícolas del acuífero.

Además, se obliga a respetar los caudales ecológicos en las centrales hidroeléctricas representadas en el modelo, en el reservorio Viconga y el de la nueva presa.

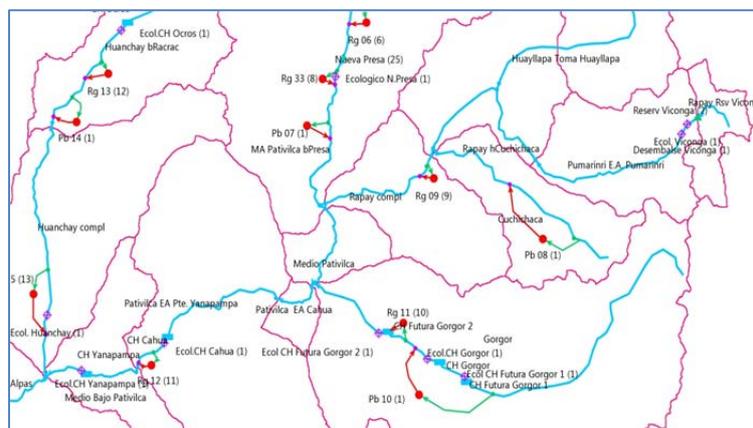


Figura 15. Detalle de la situación de las presas y algunos puntos de requisito de caudal ecológico. Fuente: elaboración propia.

El análisis de los dos escenarios de la situación futura, sin y con la afección del cambio climático ofrece resultados muy parecidos a los de la situación actual, a pesar del 28% de incremento de demanda, porque hay superávit de oferta y, además, en situación futura se añade la nueva presa de 120 hm³. La Nueva Presa 2 no tiene influencia porque, como se dijo, se ha incluido por decisión de la ALA aunque no se conoce su capacidad ni su objetivo. Igual ocurre con las dos nuevas centrales del Gorgor, que, al no tener licencia, se han introducido con caudal máximo nulo.

Las tablas adjuntas reflejan la confiabilidad de las dos alternativas seguidas del balance medio anual de ambas, que siguen siendo del 100% en todos los subsistemas excepto en los del Medio Alto Pativilca, Huanchay y Bajo Pativilca, pero, en cualquier caso, con confiabilidad muy por encima del mínimo asumido. Se observa que en ambas hipótesis, sin y con la afección del cambio climático, casi desaparecen los pequeños déficits que se producían en el servicio de las demandas agrícolas del Bajo Pativilca, que ascendían a 11,9 hm³/a y ahora se reducen a 3,7hm³/a. Por supuesto, los 162 hm³/a de demanda de la nueva irrigación —incluida en el subsistema del Medio Alto Pativilca— se sirven con sólo un fallo del 31% —en el año más seco de la serie, 1980, en el que sólo se dispone de un 40% de la oferta media anual— debido a la contribución de las reservas de la nueva presa en años muy secos, como se ve en la figura adjunta.

La confiabilidad de suministro de las Centrales Hidroeléctricas en la cuenca para la situación futura es en promedio el 88,5%, esta confiabilidad se ha calculado comparando el caudal medio que se obtiene del modelo de gestión en la captación de la Central Hidroeléctrica, con el caudal de diseño de dicha central.

Central Hidroeléctrica	Confiabilidad de Suministro (%)
San Judas Tadeo ICM	100,0%
CH Pacarenca	100,0%
CH Gorgor	100,0
CH Cahua	97,2%
CH Yanapampa	97,9%
CH Ocros	80,4%
CH Roncador	44,1%
Promedio en cuenca	88,5%

Tabla 13. Confiabilidad de suministro de las Centrales Hidroeléctricas en el modelo de gestión: situación futura. Fuente: elaboración propia

SUBSISTEMA	DEMANDA POBLACIONAL					DEMANDA AGRÍCOLA						DEMANDA INDUSTRIAL Y MINERA				
	DEMANDA (hm ³ /año)			CONFIABILIDAD		DEMANDA (hm ³ /año)			CONFIABILIDAD			DEMANDA (hm ³ /año)			CONFIABILIDAD	
	Total	Servida	Déficit	Mensual	Volumétrica	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volumétrica	Total	Servida	Déficit	Mensual	Volumétrica
Medio Alto Pativilca	0,21	0,21	0,00	100,0%	100%	167,89	166,84	1,04	98,0%	98,6%	99,4%	0,42	0,42	0,00	100,0%	100%
Rapay	0,11	0,11	0,00	100,0%	100,0%	2,77	2,77	0,00	100,0%	100,0%	100,0%	0,00	0,00	0,00	-	-
Gorgor	0,06	0,06	0,00	100,0%	100,0%	2,93	2,93	0,00	100,0%	100,0%	100,0%	0,00	0,00	0,00	-	-
Medio Bajo Pativilca	0,00	0,00	0,00	-	-	5,23	5,23	0,00	100,0%	100,0%	100,0%	0,00	0,00	0,00	-	-
Huanchay	0,04	0,04	0,00	100,0%	100,0%	20,03	19,69	0,34	98,0%	97,6%	98,3%	0,00	0,00	0,00	-	-
Bajo Pativilca	11,43	11,43	0,00	100,0%	100,0%	536,34	532,82	3,52	98,0%	98,5%	99,3%	15,38	15,23	0,16	99,0%	99,0%
Acuífero de Pativilca	0,95	0,95	0,00	100,0%	100,0%	0,07	0,07	0,00	100,0%	100,0%	100,0%	2,06	2,06	0,00	100,0%	100,0%
CUENCA TOTAL	12,80	12,80	0,00	100,0%	100,0%	735,25	730,36	4,89	98,0%	98,5%	99,3%	17,87	17,71	0,16	99,0%	99,1%

Tabla 14. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos: situación futura, sin cambio climático. Fuente: elaboración propia

SUBSISTEMA	DEMANDA POBLACIONAL					DEMANDA AGRÍCOLA						DEMANDA INDUSTRIAL Y MINERA				
	DEMANDA (hm ³ /año)			CONFIABILIDAD		DEMANDA (hm ³ /año)			CONFIABILIDAD			DEMANDA (hm ³ /año)			CONFIABILIDAD	
	Total	Servida	Déficit	Mensual	Volumétrica	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volumétrica	Total	Servida	Déficit	Mensual	Volumétrica
Medio Alto Pativilca	0,21	0,21	0,00	100,0%	100%	167,88	166,87	1,02	98,0%	98,6%	99,4%	0,42	0,42	0,00	100,0%	100%
Rapay	0,11	0,11	0,00	100,0%	100,0%	2,77	2,77	0,00	100,0%	100,0%	100,0%	0,00	0,00	0,00	-	-
Gorgor	0,06	0,06	0,00	100,0%	100,0%	2,93	2,93	0,00	100,0%	100,0%	100,0%	0,00	0,00	0,00	-	-
Medio Bajo Pativilca	0,00	0,00	0,00	-	-	5,23	5,23	0,00	100,0%	100,0%	100,0%	0,00	0,00	0,00	-	-
Huanchay	0,04	0,04	0,00	100,0%	100,0%	20,03	19,69	0,33	98,0%	97,6%	98,3%	0,00	0,00	0,00	-	-
Bajo Pativilca	11,43	11,43	0,00	100,0%	100,0%	536,34	532,85	3,49	98,0%	98,5%	99,3%	15,39	15,23	0,16	99,0%	99,0%
Acuífero de Pativilca	0,95	0,95	0,00	100,0%	100,0%	0,07	0,07	0,00	100,0%	100,0%	100,0%	2,06	2,06	0,00	100,0%	100,0%
CUENCA TOTAL	12,80	12,80	0,00	100,0%	100,0%	735,25	730,42	4,84	98,0%	98,5%	99,3%	17,87	17,71	0,16	99,0%	99,1%

Tabla 15. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos: situación futura, con cambio climático. Fuente: elaboración propia

Subsistema	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Ind&Minera		Retornos	Variación de reservas	Salida a aguas abajo	Salida al mar
			Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit				
Medio Alto Pativilca	833,924	0,000	0,213	0,000	166,844	1,041	0,420	0,000	83,928	-1,429	748,947	0,000
Rapay	368,358	0,000	0,112	0,000	2,773	0,000	0,000	0,000	1,476	-0,102	366,847	0,000
Gorgor	250,810	0,000	0,060	0,000	2,926	0,000	0,000	0,000	1,511	0,000	249,335	0,000
Medio Bajo Pativilca	53,595	1365,129	0,000	0,000	5,230	0,000	0,000	0,000	2,615	0,000	1416,107	0,000
Huanchay	100,058	0,000	0,039	0,000	19,690	0,336	0,000	0,000	9,876	0,000	90,211	0,000
Bajo Pativilca	10,443	1506,319	11,432	0,000	532,824	3,516	15,228	0,157	0,000	0,000	-	957,281
Acuífero de Pativilca	3,041	0,000	0,948	0,000	0,072	0,000	2,064	0,000	180,434	0,000	-	180,391
CUENCA TOTAL	1620,228	0,000	12,804	0,000	730,359	4,893	17,712	0,157	279,840	-1,531	-	1137,671

Tabla 16. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes (hm³/a): situación futura, sin cambio climático. Fuente: elaboración propia

Subsistema	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Ind&Minera		Retornos	Variación de reservas	Salida a aguas abajo	Salida al mar
			Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit				
Medio Alto Pativilca	840,590	0,000	0,213	0,000	166,869	1,016	0,420	0,000	83,941	-1,429	755,600	0,000
Rapay	369,939	0,000	0,112	0,000	2,773	0,000	0,000	0,000	1,476	-0,102	368,428	0,000
Gorgor	253,095	0,000	0,060	0,000	2,926	0,000	0,000	0,000	1,511	0,000	251,619	0,000
Medio Bajo Pativilca	53,751	1375,647	0,000	0,000	5,230	0,000	0,000	0,000	2,615	0,000	1426,783	0,000
Huanchay	100,624	0,000	0,039	0,000	19,693	0,333	0,000	0,000	9,878	0,000	90,775	0,000
Bajo Pativilca	10,417	1517,558	11,432	0,000	532,852	3,487	15,228	0,157	0,000	0,000	-	968,463
Acuífero de Pativilca	3,003	0,000	0,948	0,000	0,072	0,000	2,064	0,000	180,441	0,000	-	180,360
CUENCA TOTAL	1631,418	0,000	12,804	0,000	730,416	4,836	17,712	0,157	279,862	-1,531	-	1148,823

Tabla 17. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes (hm^3/a): situación futura, con cambio climático.

10. CALIDAD DE LAS AGUAS

La calidad del agua es un tema fundamental para la planificación y gestión de los recursos hídricos.

La información referente a la calidad del agua se encuentra todavía en un estado incipiente y no se dispone de una base histórica sólida con la que poder extraer conclusiones de tendencias, evolución temporal y/o espacial de contaminantes, origen natural o antropogénico de los mismos, etc., gran parte de datos disponibles son dispersos, no tiene continuidad temporal y se refieren a menudo a zonas concretas.

10.1. INVENTARIO DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Según el informe técnico de identificación de fuentes contaminantes en la cuenca del río Pativilca (Informe Técnico N°011-2013-ANA-DGCRH/CAVN), se identificaron las principales fuentes de contaminación sin autorización de vertimiento de toda la cuenca del río Pativilca. En este informe se localizaron 25 fuentes de contaminación de los cuales 19 corresponden a vertimientos de aguas residuales domésticas y 6 corresponden a botaderos de residuos sólidos.

Además de estas fuentes identificadas, hay que tener en cuenta la actividad minera en la cuenca alta del río Pativilca. Según el listado de pasivos mineros del MINEM actualizado a marzo 2015, se han identificado 135 pasivos mineros. Estos puntos se concentran en las quebradas Pichcarnara y Huishcash (cuya unión forma el río Pativilca), y en la zona alta del río Gorgor y en la zona media del río Rapay.

10.2. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS CUERPOS DE AGUA

El principal obstáculo para la evaluación de la calidad de las aguas superficiales es la falta de datos. No existe data histórica que permita hacer un seguimiento y comparación. La interpretación de resultados es referencial, ya que solo se dispone de una campaña realizada en época de avenida pero que ha sido complementada con las informaciones recogidas durante los recorridos de campo.

Con respecto a los valores de pH, las aguas del río Pativilca y sus principales tributarios, en general, tienden a ser ligeramente básicas. En el caso del río Llamac esa basicidad supera el límite del ECA, donde también se detecta su alta alcalinidad debida a la presencia de carbonatos por las características litológicas de la zona. En esa zona existe actividad minera en activo, así como una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en mal estado y lavaderos de maquinaria. La Quebrada Chicra es el cuerpo receptor de las aguas provenientes de la actividad minera que se lleva a cabo en la cuenca alta del Pativilca, lo que puede explicar el valor de pH ligeramente ácido que presenta. El pH ácido puede favorecer la resolubilización de algunos metales contenidos en los sedimentos.

Respecto a la **conductividad**, todos los valores se mantienen dentro de los límites establecidos y no cabe resaltar ningún valor anómalo.

Los parámetros químicos analizados en la cuenca Pativilca durante la campaña del 2013 se encuentran todos dentro de los límites establecidos por los ECA a excepción de la **alcalinidad** en el río Llamac, debido a la presencia de carbonatos.

En referencia a la presencia de **metales y metaloides**, se detalla lo siguiente:

- Los valores de **Aluminio** obtenidos en el monitoreo de diciembre 2014 realizado por ANA, incumplen el ECA en los puntos ubicados en los tramos medio e inferior del río Pativilca.
- Las concentraciones de **Hierro** presentan una tendencia creciente a lo largo del río, superando de manera muy importante los límites de los ECA en los últimos puntos evaluados del cuerpo de

agua principal. Su presencia suele deberse a causas naturales y, en la gran mayoría de casos, está directamente relacionado con la concentración de Manganeseo.

- Se detecta la presencia de **Cadmio** en el río Pativilca y en el río Quero, siendo no detectable en el resto de cursos de la cuenca.
- Referente al **Plomo**, solo se detectan incumplimientos en la desembocadura del río Pativilca y en la Laguna Tocto.
- Se detecta presencia de **Arsénico** en los ríos Pativilca, Gorgor, Quero y Rapay, superando el límite ECA establecido únicamente en el río Quero. La presencia de este elemento puede ser debido a las características litológicas de la cuenca.
- El resto de parámetros analizados se encuentran dentro de los límites establecidos por los ECA correspondientes.

Con respecto a los **parámetros microbiológicos**, estos fueron valorados mediante 2 parámetros: los Coliformes Termotolerantes y los huevos de Helmintos.

En lo referente al primero, se detecta a lo largo de toda la cuenca debido a la gran cantidad de vertimientos de aguas servidas sin tratamiento y presencia de botaderos en las márgenes de los principales ríos. Respecto al segundo, no se detectó en ninguno de los puntos monitoreados.

Es preciso resaltar que la **Laguna Tocto** es el único cuerpo léntico monitoreado en la cuenca del Pativilca, ubicado en el distrito de Cajatambo. En el punto monitoreado en la laguna se detectan incumplimientos de Nitrógeno Amoniacal y de Oxígeno Disuelto, lo que evidencia la alta productividad primaria de la laguna, característica propia de los cuerpos lénticos. Con respecto a los incumplimientos de plomo, pueden deberse a la influencia de las actividades mineras que se desarrollan en la zona.

10.3. CONTRASTE DE LA CALIDAD DEL AGUA CON LAS PRESIONES INVENTARIADAS

Una vez analizadas las presiones, los resultados de los monitoreos y los recorridos de campo para verificar y complementar la información disponible, se han contrastado las presiones con la calidad del agua de la cuenca Pativilca.

Para su mejor análisis, se distingue 3 zonas en la cuenca del río Pativilca: alta, media y baja.

La **cuenca alta** del río Pativilca, conformada por los ríos Llamac, Achín y Tingo así como el río Pativilca hasta su confluencia con el Llamac, se caracteriza por la presencia de actividades mineras autorizadas y pequeña minería informal, así como un número importante de pasivos mineros.

En los resultados del monitoreo realizado en el año 2014 se detectan incumplimientos de hierro y manganeso en la cuenca alta del río Pativilca, debidos a la naturaleza geológica de esta zona. Además se detecta presencia de Coliformes termotolerantes, que evidencian la influencia de las aguas domésticas sin tratar que se vierten al río.

Por otro lado, la quebrada Chicra presenta incumplimiento en pH (ligeramente más ácido) y del Manganeseo. En los dos puntos analizados del río Llamac, supera el límite ECA establecido por el pH así como el de alcalinidad. A su vez, se detecta presencia de plomo pero que no incumple los parámetros establecidos por el ECA. Por último, el río Quero presenta incumplimiento en Arsénico y Hierro. Es preciso resaltar que aguas arriba del punto de monitoreo se encuentra una mina de carbón que podría aportar la pequeña cantidad de Plomo que se detecta (que no incumple el ECA establecido).

Con respecto a la **cuenca media**, conformada por los ríos Gorgor, Rapay, Huanchay, Arhuar así como la Quebrada Ancamayo, presenta pocas presiones antrópicas.

Esta zona donde el río Pativilca recibe las aportaciones de los ríos Rapay y Gorgor, presenta concentraciones que incumplen los ECA de metales como el Hierro, Manganeso y Aluminio. La presencia de los dos primeros se debe a su naturaleza litológica y el último debido a la actividad minera presente en la cuenca alta. Además, el río Rapay sólo muestra incumplimiento en Hierro y el río Gorgor presenta incumplimiento en Hierro, de origen natural. Hay que destacar la presencia de Aluminio y de Manganeso en los puntos evaluados.

Por último la **cuenca baja**, donde se concentran los centros poblados, la actividad agrícola y la principal actividad industrial de la cuenca, presenta varios incumplimientos ya que el río Pativilca recibe las aportaciones de todos sus tributarios. Hay presencia de Coliformes Termotolerantes y residuos sólidos. Las concentraciones de Aluminio, Hierro y Manganeso superan de manera significativa los ECA, estos metales tienen un origen natural y sus concentraciones van aumentando desde aguas arriba por efecto de acumulación. También se destaca el incumplimiento de varios metales de origen no natural como lo son el Cadmio y el Plomo así como presencia de Zinc, metales que suelen encontrarse en zonas donde existen actividades mineras.

Por otra parte, cabe destacar la presencia de fósforo, que supera 1 mg/l en el punto de monitoreo de la desembocadura del Pativilca, lo que indica una ligera influencia de las actividades agrícolas sobre las aguas de esta cuenca, aunque sin efectos destacables.

Un punto especial es la Laguna Locto en la cuenca baja. En el punto monitoreado se detectan incumplimientos de Nitrógeno Amoniacal y de Oxígeno Disuelto, lo que evidencia la poca oxigenación de la laguna producido por la alta productividad primaria, característica propia de los cuerpos lénticos. También se detecta incumplimientos en plomo, probablemente debido a las actividades mineras que se desarrollan en la zona y trazas de aluminio, hierro y manganeso, de origen natural.

11. EVENTOS EXTREMOS Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA

11.1. INUNDACIONES

Se han obtenido datos de los puntos del Inventario Histórico de Desastres de Perú (1970-2014), las Zonas con Peligro Potencial de Inundación elaborado por la Comisión Multisectorial de Reducción de Riesgos en el Desarrollo, los puntos con riesgo de inundación y huaycos extraídos del Sistema de Información Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN) elaborado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y los puntos extraídos del documento "Riesgos geológicos en la Región de Cajamarca" elaborado del mismo modo por el Sistema de Información Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN) elaborado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Según los eventos analizados, las afecciones que han tenido repercusión en la cuenca de Pativilca y los puntos con peligrosidad, se observa que la mayoría de los eventos se producen en el tramo final del eje principal, si bien es cierto también se producen de manera frecuente en su tramo alto (Aquia) y en el tramo medio, en el núcleo de Gorgor. Se consideran 27 puntos significativos de inundación en total.

De las estaciones de aforo existentes en la cuenca de Pativilca, únicamente la estación Puente Yanapampa I, tiene valores suficientes (un mínimo de 15 años completos) para realizar ajustes estadísticos. Los distintos ajustes obtenidos para esta estación ofrecen valores significativamente diferentes para períodos de retornos altos, lo que es debido a la escasez de datos. Por ello, no es aconsejable la utilización de los valores obtenidos para períodos de retorno superiores a 25 años.

En la cuenca de Pativilca se dan distintos tipos de inundaciones en cuanto al transporte de carga sólida. El transporte de sedimentos puede ser muy significativo en algunos casos debido a la presencia de quebradas y torrenteras.

Históricamente, los daños provocados por los eventos de inundación han provocado destrucción y daños en viviendas, afección a infraestructuras viarias provocando cortes en carreteras y caminos, daños en centros educativos, cortes eléctricos, afección a servicios de agua, daños a cultivos y canales de riego.

11.2. SEQUÍAS

A nivel nacional, entre 2000 y 2010 se reportaron 163 eventos de sequías en Perú, no obstante el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) no tiene registrada ninguna sequía que haya necesitado emergencia en esta cuenca entre 2003 y 2013.

En base al análisis de las fuentes consultadas, se han recogido 2 episodios de sequía importantes para la cuenca de Pativilca en los años 1975 (enero) y 1997 (enero).

11.3. VARIABILIDAD CLIMÁTICA

El ENOS (El Niño/Oscilación del Sur) es un fenómeno oceánico-atmosférico, cíclico (entre 3-7 años), que consiste en la interacción de las aguas superficiales del océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante. Este es el principal fenómeno meteorológico regulador del clima mundial, aunque hay otros que también suelen estar directamente implicados. Los índices climáticos reflejan los grandes fenómenos extremos. De todos ellos han sido analizados los siguientes:

Fenómeno meteorológico	Índice seleccionado
------------------------	---------------------

ENSO	Multivariate ENSO Index (MEI)
ENSO	Southern Oscillation Index (SOI)
Oscilación Multidecadal del Pacífico	Pacific Decadal Oscillation (PDO)
Oscilación Multidecadal del Atlántico	Atlantic Multidecadal Oscillation Index (AMO)

Tabla 18. Índices de variabilidad climática seleccionados para el estudio

Por otro lado mediante el análisis de las series históricas de la precipitación se pueden detectar, a través de los años, importantes variaciones, por encima o por debajo de lo normal, en el comportamiento de las temporadas secas o lluviosas.

La variabilidad climática interanual se ha analizado mediante la correlación a escala anual de un índice normalizado de precipitación (calculado como el valor anual de la precipitación menos el valor medio de la serie y esta diferencia entre el valor medio de la serie) con la evolución de los índices macroclimáticos a escala global, vinculados a procesos meteorológicos de mayor ámbito. Esta correlación se ha realizado a escala mensual en el periodo 1965-2013.

La relación con los índices MEI y PDO es directa, mientras que con SOI y AMO es inversa, según se aprecia en los coeficientes de correlación. Analizando anualmente la variabilidad de precipitación y la del índice MEI se identifica la influencia del Niño de 1983, la de 1998, y las grandes oscilaciones entre el fenómeno de El Niño y La Niña y las variaciones respecto de la media en precipitación. En relación a las variaciones decadales, se aprecia un periodo claro entre 1976 y 2006 en el índice PDO (serie de 30 años con tendencia por debajo de la media).

12. DINÁMICA FLUVIAL: EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

En general la cuenca de Pativilca presenta valores de pérdidas del suelo moderados. En la parte baja (sector correspondiente a la desembocadura al Océano) los valores son muy bajos debido a las pendientes suaves y al índice de erosión pluvial (inferiores a 10 t/ha/año). En la zona media de la cuenca los valores son moderados (10-50 t/ha/año). Finalmente en el sector alto de la cuenca, las pérdidas de suelo son altas (50-200 t/ha/año) y puntualmente muy altas (>200 t/ha/año) a causa, principalmente, de la precipitación media, la erosibilidad que presenta el terreno y la elevada pendiente que presenta la red fluvial en las partes de la cabecera de la cuenca.

La descripción morfológica realizada de los principales cursos fluviales existentes en la cuenca del río Pativilca permite apreciar los factores que dominan la dinámica fluvial. El río Pativilca tiene un perfil de pendiente moderada, ligeramente cóncavo en el curso medio. Su afluente principal por la margen derecha en la cuenca baja, el río Huanchay, tiene pendiente homogénea de moderada a fuerte en todo su curso, y cuenta con dos lagunas represadas, una en la parte alta y otra en la parte baja de la cuenca. El río Rapay, en sus 25 kms iniciales posee pendiente muy suave siendo mucho más pronunciada en el curso medio. En el caso del río Gorgor su pendiente es homogénea en todo su recorrido.

La descripción morfológica de la cuenca de Pativilca se centra en la red principal compuesta por los cursos Pativilca, Achín, Rapay, Gorgor y Huancay.

El cálculo de la aportación de material sólido se ha realizado utilizando la fórmula de la USLE para determinar la disponibilidad de sedimento, y un coeficiente de entrega de sedimentos, calculado en función del área aportante, la aportación definitiva en cada uno de los puntos de cálculo. Los resultados obtenidos se pueden considerar adecuados teniendo en consideración las simplificaciones utilizadas, si se comparan estos con los valores habituales que se han medido en cursos con similares condiciones físicas y climatológicas, tal y como se ha podido apreciar en el apartado de validación de los resultados.

Del análisis de los resultados se puede observar que la cuenca de Pativilca presenta valores de pérdidas de suelo moderados. En la parte baja (sector correspondiente a la desembocadura al Océano) los valores son muy bajos debido a las pendientes suaves y al índice de erosión pluvial (inferiores a 10 t/ha/año). En la zona media de la cuenca los valores son moderados (10-50 t/ha/año). Finalmente en el sector alto de la cuenca, las pérdidas de suelo son altas (50-200 t/ha/año) y puntualmente muy altas (>200 t/ha/año) a causa, principalmente, de la precipitación media, la erosibilidad que presenta el terreno y la elevada pendiente que presenta la red fluvial en las partes de la cabecera de la cuenca.

13. PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO

13.1. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO

Se desarrolla el análisis del potencial hidroeléctrico a partir de los resultados obtenidos en el estudio realizado en 2014 por el Earth Resources Observation and Science Center (EROS) del United States Geological Survey (USGS) a través de un convenio de colaboración con la Corporación Andina de Fomento (CAF) que se describe en el Hydropower Assessment of Peru (USGS, 2014) y de los datos recopilados en el MINEM.

Con esta información, se realiza un análisis de potencial hidroeléctrico en la cuenca presentando la cuantificación del potencial hidroeléctrico por subcuencas y la identificación de los tramos con mayor potencial. Así mismo se identifican los aprovechamientos hidroeléctricos existentes.

En general, la cuenca Pativilca tiene muchas posibilidades de aprovechamiento hidroeléctrico, principalmente por el fuerte desnivel de sus cauces y la existencia de caudales permanentes. Existen diversos tramos fluviales con potenciales mayores a 25 MW, especialmente en los ríos Huanchay, Pumarini y en el río Pativilca tras la confluencia del río Achín. En concreto destacan especialmente los tramos de la quebrada Huanchay antes de la confluencia con la quebrada Pusion, el río Pumarini antes de la confluencia con el Rapaya, el río Pativilca en su confluencia con el río Achín, la quebrada de San Telmo y el río Rapay antes de su confluencia con el Pativilca.

Existen en la actualidad diversos aprovechamientos hidroeléctricos funcionando en la cuenca Pativilca, en concreto: C.H. Gorgor (que se encuentra ubicada en un tramo de potencial medio-alto), CH Roncador, CH Cahua, CH Yanapampa, CH Ocros, CH San Judas Tadeo y CH Pacarenca.

Asimismo, no existen nuevas concesiones hidroeléctricas activas en la cuenca Pativilca, según fuentes consultadas al Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

13.2. POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO

Uno de los objetivos principales en estudios de evaluación y gestión de los recursos hídricos en la cuenca es la determinación de su potencial de almacenamiento. Dicho potencial debe repercutir en la mejora de la disponibilidad de agua para los usos existentes y en la reducción de los déficits hídricos estacionales que se producen en algunas cuencas, especialmente en la vertiente del Pacífico.

A partir de la información cartográfica disponible se han seleccionado los posibles emplazamientos presas que permitan almacenar un volumen de embalse variable de 50, 100 y 500 hm³, descartando aquellas cerradas ubicadas en zonas poco apropiadas en función de la geología y las fallas existentes.

Las Alternativas identificadas en gabinete han sido estudiadas, evaluadas y priorizadas siguiendo los criterios siguientes:

- Criterio geológico, identificando las formaciones aflorantes en la zona de presa, cuyas características son claves para la estabilidad de la estructura que cierra el embalse.
- Criterio de geodinámica interna, en concreto se evalúan los parámetros siguientes:
 - La geología estructural de la zona, identificando si en la zona de presa existen fallas identificadas que puedan comprometer la estabilidad estructural de la obra.
 - La zonificación sísmica, identificando la peligrosidad sísmica en cada ubicación de presa identificada.
- Criterio de geodinámica externa, en concreto se evalúa el peligro a huaicos y deslizamientos de ladera que puedan producirse en la presa y zona de embalse, que puedan comprometer la correcta funcionalidad de las obras y del vaso del embalse.

Se han identificado alternativas para ubicación de nuevas presas de entre 50 y 100 hm³ situadas en el río Pativilca, en su cuenca media y alta, cerca de las provincias de Aco, Cajamarquilla y Caclón. Todos los tramos fluviales involucrados en las posibles presas son de pendiente media a alta, con valles angostos donde existen variadas posibilidades de ubicar presas.

En el caso de presas de mayor volumen de almacenamiento (500 hm³), aparecen dos alternativas en el río Pativilca inmediatamente antes e inmediatamente después de la confluencia con el río Huanchay, en la zona de cuenca media-baja del Pativilca.

Independientemente de los nuevos embalses identificados, existe en la cuenca de forma natural un volumen de reservas almacenadas debidas a la existencia de lagunas y lagos situados mayoritariamente en zonas de cuenca alta. En el caso de que se quisiera aprovechar el recurso hídrico de estas lagunas naturales sería necesario el estudio de detalle para analizar la posible regulación del volumen extraíble.

13.3. LINEAMIENTO PARA EL APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DE LA RIQUEZA HÍDRICA

Teniendo en cuenta los lineamientos de la GIRH y las actividades previstas en la planificación regional, la gestión global de los recursos hídricos de la cuenca Pativilca deben optimizarse teniendo en cuenta los lineamientos siguientes:

Teniendo en cuenta los lineamientos de la GIRH y las actividades previstas en la planificación regional, la gestión global de los recursos hídricos de la cuenca Pativilca debe optimizarse teniendo en cuenta los lineamientos siguientes:

- **Línea de Acción 1: Fortalecimiento Institucional** de los entes involucrados en la gestión del agua en la cuenca (AAA, ALAs y Operadores sectoriales).
- **Línea de Acción 2: Monitoreo** de la **calidad del agua** y **fiscalización** de las **fuentes contaminantes**, con especial atención sobre las zonas legalmente protegidas o declaradas de interés ambiental.
- **Línea de Acción 3: Explotación del Potencial Hidroenergético** especialmente en las subcuencas del Rapay, Huanchay y la cuenca media del río Pativilca, en las que existen tramos fluviales de elevado interés para el aprovechamiento hidroeléctrico.
- **Línea de Acción 4: Explotación del Potencial de Almacenamiento**, principalmente en la zona media alta del río Pativilca, donde se localizan las zonas más óptimas para el almacenamiento.
- **Línea de Acción 5: Formulación de Planes de Gestión de los RR HH**

Actualmente, la cuenca Pativilca no está regulada. No se detectan mayores problemas para atender la demanda, pero los escenarios futuros muestran que incluyendo una presa de 120 hm³ desaparecen los pequeños déficits que se detectan en la situación actual.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De las premisas desarrolladas en el proceso de elaboración del presente estudio, cuyos objetivos son la determinación de las disponibilidades hídricas y la implementación de un modelo de gestión en la cuenca hidrográfica del río Pativilca, que servirán de base para: i) la planificación de los recursos hídricos en el seno del Consejo de Recursos Hídricos que se conformará a iniciativa de los Gobiernos Regionales de Ancash y Lima y; ii) la toma de decisiones de la Autoridad Nacional del Agua en el otorgamiento de derechos y manejo de conflictos. Todas estas acciones se encuentran circunscritas dentro del marco de las funciones de la ANA de acuerdo a la Ley de Recursos Hídricos. A continuación se sintetizan las conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

14.1. CONCLUSIONES

- El modelo de gestión aplicado sobre la cuenca permite calcular el grado de satisfacción de las necesidades hídricas actuales y futuras teniendo en cuenta la infraestructura existente y sus reglas de operación.
- El modelo incorpora por primer vez a nivel de cuenca, tanto el recurso hídrico superficial como el recurso subterráneo, así como las demandas y también la infraestructura involucrada en la gestión de la cuenca (básicamente presas de regulación, centrales hidroeléctricas y canales de trasvase intercuenca).
- Se han obtenido resultados del balance hídrico particularizados para cada subcuenca hidrológica definida.
- Los resultados del estudio hidrológico permitirán obtener la disponibilidad hídrica y demanda a nivel de subcuenca hidrológica, información valiosa para eventuales inversiones públicas o privadas y de ser el caso el respectivo otorgamiento de derechos de agua.
- El cálculo de la gestión de los recursos hídricos se ha realizado en cada subcuenca a partir de las series de oferta para un período temporal de 50 años y demandas brutas actuales mensuales obtenidas en este estudio.
- Los resultados del modelo proporcionan información consistente en relación a los efectos de la variabilidad climática sobre la satisfacción de las demandas. Asimismo los resultados arrojan información inédita hasta la actualidad sobre los efectos de la regulación sobre la confiabilidad del sistema. Estas mejoras suponen un avance evidente respecto a los balances tradicionales sólo de agua superficial que arrojan resultados medios mensuales de un año promedio considerando la cuenca entera como una única entidad de estudio.
- En la evaluación de la situación actual, los resultados del balance hídrico en la cuenca Pativilca, muestran que las demandas totales anuales se sirven con confiabilidad máxima del 100% o muy cercano a éste, bajo cualquier criterio. En el gráfico mostrado a continuación, observamos que hay 9 años con déficits, pero de muy pequeña magnitud, dado que el mayor de ellos, de 24 hm³, es inferior al 5% de la demanda total de 569 hm³. La evolución de reservas del río Pativilca, que no se representan en el gráfico, se mantiene lleno en su máximo valor útil de 374 hm³/año. Las demandas poblacionales de todos los subsistemas se sirven al 100%, por su prioridad máxima, asignada en función de la exigencia del artículo 35 de la Ley de Recursos Hídricos. Las industriales y mineras y las agrícolas no tienen prioridad máxima y se sirven también al 100% a excepción de las de Fortaleza, que se quedan cerca, con un 99,7 y 98,2 de confiabilidad volumétrica pero muy por encima de los límite respectivos de aceptabilidad del 90 y 95%. Incluso las agrícolas tienen el 100% de confiabilidad anual, lo que indica que no hay ningún déficit anual mayor del 20%. Esto se debe a que la oferta disponible es netamente superior a la demanda, incluso en los meses de estiaje.

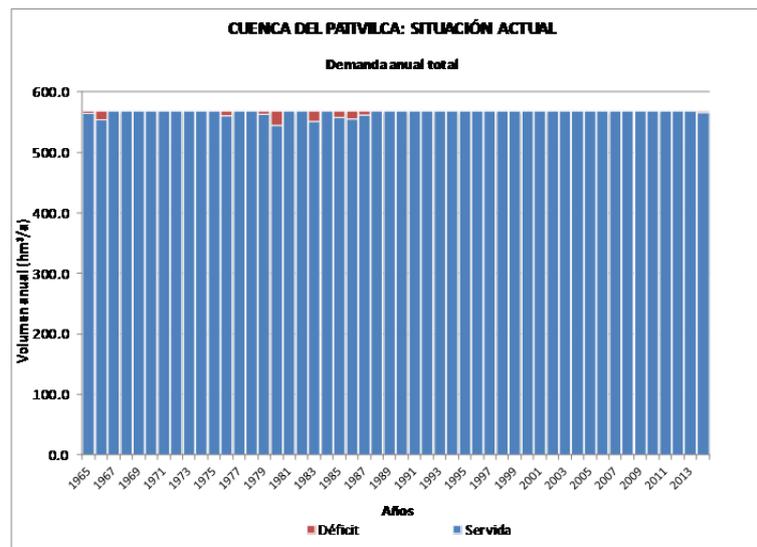


Figura 16. Balance Hídrico global en la situación actual para la cuenca Pativilca. Fuente: elaboración propia.

- En la evaluación para la situación futura, considerando mayores requerimientos hídricos en las demandas poblacionales y agrícolas, que incluyen ampliación de la zona regable del valle de Pativilca en 8 000 ha nuevas y mejora de las 27 000 ha existentes, así como el proyectado crecimiento poblacional, y el consabido cambio climático, considerando también la regulación de unos 120 hm³, se mantiene el superávit hídrico de la oferta ofrecido por esta cuenca. El gráfico adjunto muestra esta ventajosa situación.

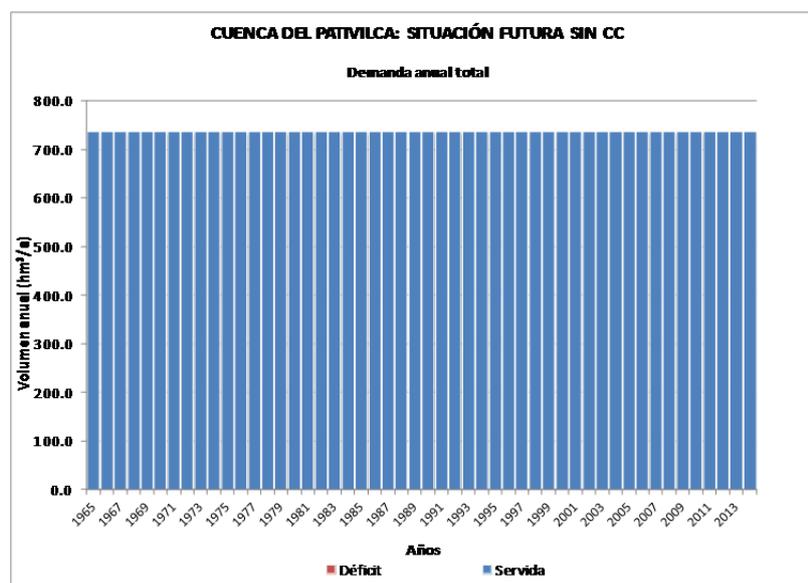


Figura 17. Balance Hídrico global en la situación futura para la cuenca Pativilca. Fuente: elaboración propia.

- Los resultados señalados han sido obtenidos aplicando las metodologías aprobadas y utilizadas en el cálculo de la oferta, la demanda y la aplicación del modelo de gestión; los cuales garantizan la optimización del uso de la información de base y la confiabilidad de los resultados obtenidos en función de la calidad de los datos de partida.
- Específicamente en la cuenca Pativilca, se han obtenido las series de disponibilidad de recurso hídrico superficial, discretizadas temporalmente (datos mensuales en una serie de 50 años) y espacialmente (en las subcuencas de estudio), y las reservas subterráneas de la cuenca obtenidas

mediante estimaciones hidrogeológicas a partir de información existente principalmente de la ANA y datos complementarios de campo.

- La oferta de agua de la cuenca, ha sido estimada discretizando su cálculo por subcuencas, aplicando el método Precipitación-Escorrentía Rainfall-Runoff Method (Soil Moisture Method) desarrollado en el programa comercial WEAP, con cálculo a escala mensual durante un período temporal de 50 años (desde el año 1965 hasta el año 2013), partiendo de datos locales hidrometeorológicos. La calibración del modelo se logró con la aplicación de un régimen alterado sobre la oferta estimada natural, comparando sus resultados con datos reales medidos en las estaciones hidrométricas existentes.
- La naturalización de las series de recurso se obtuvieron con la detracción de las demandas e infraestructuras incluidas en el régimen alterado, obteniendo como resultado series de aportación mensuales en cada subcuenca de cálculo.
- En la cuenca Pativilca se han generado 21 subcuencas para el cálculo hidrológico y se han escogido 04 estaciones para la calibración del modelo precipitación-escorrentía (EH Alpas, EH Alpas y Tomas Altas; EH Puente Yanapampa I; EH Puente Yanapampa II).
- La cuenca Pativilca genera anualmente un volumen de recurso hídrico bruto total de 2,019.9 hm³/año. Los resultados de oferta naturalizada detallados para cada subcuenca se incluyen en la tabla siguiente:

Subcuenca	Área propia (km ²)	Área acumulada (km ²)	Q _{promedio propio} (m ³ /s)	Q _{promedio acumulado} (m ³ /s)	Aportación propia (hm ³ /a)	Aportación acumulada (hm ³ /a)
SC01-Alto Pativilca	747,4	747,4	16,93	16,93	530,4	530,4
SC02-Achín	282,6	282,6	7,49	7,49	234,4	234,4
SC03-Medio Alto Pativilca	573,8	1 603,8	8,61	47,59	269,2	1489,9
SC04-Huayllapa en Toma Huayllapa	127,3	127,3	3,65	3,65	114,3	114,3
SC05-Laguna Viconga	40,8	40,8	1,13	1,13	35,3	35,3
SC06-Pumarinri en E.A. Pumarinri	134,8	175,6	2,94	4,07	92,1	127,4
SC07-Rapay h/Cajatambo (Cuchichaca)	166,6	469,5	3,16	12,91	99,1	404,4
SC08-Cajatambo (Cuchichaca)	127,8	127,8	2,03	2,03	63,6	63,6
SC09-Rapay completo	135,9	733,2	1,64	14,55	51,5	455,9
SC10-Medio Pativilca	48,4	2 385,4	0,30	57,65	9,4	1 805,1
SC11-Gorgor	561,6	561,6	9,76	9,76	305,7	305,7
SC12-Pativilca en E.A. Cahua	21,7	2 968,7	0,13	57,78	4,1	1 809,2
SC13-Pativilca en E.A. Puente Yanapampa II	357,6	3 326,3	1,71	59,49	53,6	1 862,7
SC14-Medio Bajo Pativilca	112,5	3 438,8	0,34	59,83	10,6	1 873,3
SC15-Huanchay b/Racrac	216,6	216,6	3,09	3,09	96,4	96,4

Subcuenca	Área propia (km ²)	Área acumulada (km ²)	Q _{promedioP} (m ³ /s)	Q _{promedioACU} mulado (m ³ /s)	Aportación propia (hm ³ /a)	Aportación acumulada (hm ³ /a)
SC16-Huanchay completo	257,4	474	1,05	4,14	32,9	129,3
SC17-Pativilca en EA Alpas	170,1	4 082,9	0,45	64,42	14,2	2 016,7
SC18-Pativilca en E.A. Alpas y Tomas Altas	17,8	4 100,7	0,01	64,43	0,4	2 017,2
SC19-Pativilca en EA Yanapampa I	83,9	4 184,6	0,03	64,44	0,4	2 017,6
SC20-Subcuenca norte B. Pativilca	173,0	173,0	0,01	0,01	0,4	1,8
SC21-Pativilca completo	234,1	4 591,7	0,02	64,52	1,8	2 019,9

Tabla 19. Resumen de caudales y aportaciones anuales por subcuenca en régimen natural. Período 1965-2013. Modelo hidrológico de Pativilca. Fuente: Elaboración propia.

- Se han desarrollado dos escenarios futuros de oferta: i) sin considerar los efectos del Cambio Climático y; ii) considerando los efectos del Cambio Climático sobre los recursos hídricos. Los resultados han sido muy similares, ya que todos los modelos de cambio climático tienen un impacto mínimo sobre el régimen de precipitaciones y la distribución de temperaturas en el horizonte estudiado.
- La información de partida ha sido obtenida de los diferentes organismos públicos y entes privados involucrados en la gestión del agua en la cuenca; demostrándonos que aún se encuentra dispersa, debido al gradual proceso de implementación del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos que se viene aplicando a la fecha.
- Destacan por sus aportes en el suministro de información básica de recursos hídricos los organismos siguientes: ANA (con todos sus entes desconcentrados, AAA, ALAs), SENAMHI (en relación a los datos hidrometeorológicos), INGEMMET, INDECI e IGN (en relación a la información cartográfica, geológica, de riesgos y eventos extremos), MINEM (en relación a usos industriales e hidroenergéticos), Gobiernos Regionales y Locales (en relación a estudios específicos y a la planificación hídrica de la cuenca), Juntas de Usuarios de Riego (en lo referente a inventarios de infraestructuras y estimación de demandas), las EPS, JASS y Comités de Agua (en relación a los usos poblacionales), DIGESA y OEFA (con todos sus órganos desconcentrados, en relación al control de la calidad del agua) y otras empresas privadas (operadores de suministros de agua a usuarios particulares).
- La información hídrica de partida no siempre ha resultado la más adecuada en cuanto a calidad y confiabilidad para su uso en este estudio. Las carencias detectadas en los datos de base tienen su origen, no solo en la falta de inversión económica, sino también y principalmente en la debilidad institucional histórica de los entes rectores de la gestión de los recursos hídricos y en su atomización en múltiples organismos con evidente falta de coordinación entre ellos. La Ley de Recursos Hídricos N° 29338 de 2009, con su posterior despliegue mediante el Reglamento de 2010, y la creación de la Autoridad Nacional del Agua suponen un giro en la política del agua, ordenando su gestión en un ente rector fuerte (ANA) con estructura desconcentrada por cuencas hidrográficas.
- En el cálculo de la demanda de agua a nivel de cuenca, la metodología aplicada admite dos posibilidades de obtención de datos: i) mediante fuentes oficiales validadas por ANA (por

ejemplo los estudios de demanda del PROFODUA, o los estudios de demandas de riego aprobados por las ALAs correspondientes), o; ii) mediante cálculo con el programa CROPWAT.

- En la cuenca Pativilca existe un estudio específico y oficial validado por ANA dentro del Programa de Formalización de Derechos de Uso del Agua (PROFODUA, 2013) que ha sido adoptado por considerarse confiable y ofrecer valores mensuales de demanda de la mayor parte de operadores de la cuenca.
- La demanda futura en la cuenca Pativilca, ha sido proyectada para un horizonte del año 2035, identificándose las nuevas actividades productivas previstas en la planificación regional-local, estimando su demanda mediante módulos de riego medios o datos específicos de cada actividad.
- Para el uso poblacional, la demanda futura se calculó siguiendo los criterios de crecimiento establecidos por el organismo oficial INEI, proyectados para el horizonte de estudio.
- La demanda total actual en la cuenca de Pativilca se estima en 942,11 hm³/año, mientras que la demanda futura a 2035 se estima que crezca hasta los 1 110,95 hm³/año.
- En el monitoreo de calidad del agua superficial realizado por ANA en el 2014, se detecta contaminación orgánica y microbiológica, así como la presencia de aluminio, hierro y manganeso.

14.2. RECOMENDACIONES

- Al término del estudio iniciar el manejo del modelo de gestión para la cuenca Pativilca, con el personal capacitado para permanentemente actualizar los componentes del modelo, oferta, demanda, infraestructura y reglas de operación, para darle la aplicación que corresponde al modelo, otorgándole sostenibilidad en el tiempo.
- Continuar con la permanente actualización del modelo de gestión, con los eventuales nodos de demanda multisectorial, lo que permitirá a la ANA, disponer de información real respecto a la disponibilidad hídrica a nivel de subcuenca hidrológica.
- Continuar con la implementación del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos, con énfasis en los nodos de gestión de la información de las cuencas, a fin de constituir una red de integración tecnológica e institucional para facilitar la sistematización, acceso, distribución, uso e intercambio de la información necesaria para la gestión de los recursos hídricos.
- Implementar los mecanismos y protocolos seleccionados para la integración y difusión de la información referente a los recursos hídricos.
- Establecer estándares de control de calidad en la generación y administración de la información, para mejorar la confiabilidad y consistencia.
- Propiciar la ejecución de monitoreos de calidad del agua con mayor frecuencia, para obtener las tendencias futuras que nos permitan actuar rápidamente para adoptar las medidas de ajuste que correspondan.
- Se hace necesario sensibilizar a los usuarios agrícolas a través de enseñanzas a niños y jóvenes (futuros agricultores) de las buenas prácticas culturales, respetando los derechos de los demás usuarios y cumpliendo estrictamente las recomendaciones dictadas por sus representantes y técnicos especializados en el manejo de su cuenca, donde se pueda ejercer el control y mensura del agua de riego.
- Consideramos de importancia la instalación de nuevas estaciones de medición y registro de caudales, de forma que se pueda contar con información actualizada y firme, tanto para las

estimaciones proyectadas como para la aplicación de modelos matemáticos, que permiten a priori resultados seguros de la disponibilidad inmediata, para un uso multisectorial del agua.

- Mejorar la red de estaciones hidrometeorológicas y monitoreo de calidad, agua subterránea, glaciología, lagunas, represas, medidores de control de los recursos hídricos, entre otros.
- Promover la inversión privada en la mejora de los servicios multisectoriales de suministro de agua con la implementación de infraestructura hidráulica suficiente que contribuya con la mejora de la distribución espacial y temporal de los recursos hídricos producidos en la cuenca.
- Promover la eficiencia en el uso de los recursos hídricos en función de la calidad de los servicios de suministro brindados por los operadores con tarifas justas.
- Continuar con los análisis de las principales limitaciones de la calidad sobre la disponibilidad del recurso, siguiendo la metodología empleada, con la identificación en primer lugar de las potenciales fuentes de contaminación (en los inventarios de ANA, MINEM y recorridos de campo), seguidamente con los resultados de los monitoreos en las fuentes naturales de agua, identificando así los principales problemas de la cuenca. Finalmente contrastar las presiones identificadas con los problemas de calidad detectados, interpretando sus posibles interrelaciones.
- Considerando que en la cuenca Pativilca no existe data histórica de calidad que permita realizar un seguimiento y comparación de resultados, se considera que los trabajos iniciados en el ámbito del monitoreo de aguas superficiales por parte de ANA son un buen punto de partida para poder efectuar mejores interpretaciones a futuro, con mayor cantidad de datos, por lo que se recomienda su continuidad. Los principales impactos en la actualidad sobre las fuentes de agua naturales provienen de la presión poblacional, actividades agrícolas y la presencia de pasivos mineros junto con pequeñas actividades mineras informales.
- Por lo que respecta a la regulación, se considera conveniente apoyar la regulación de la cuenca para garantizar el incremento de nuevas tierras bajo riego y el mejoramiento de sus actuales áreas cultivadas.
- Se recomienda continuar con los monitoreos de calidad de las aguas superficiales, siguiendo los protocolos y la red de control definida por ANA, ampliada con nuevos puntos propuestos en este estudio, así como mejorar su frecuencia a un mínimo de 2 monitoreos anuales (en estiaje y en avenida). También se recomienda un mayor control y fiscalización de los vertimientos, residuos sólidos y pasivos ambientales que puedan afectar a las fuentes naturales de agua.
- Se recomienda el uso oficial de los resultados de la oferta de recursos hídricos del presente estudio, previa aprobación de la Autoridad Nacional del Agua, para cualquier estudio hidrológico o hidrogeológico futuro que se realice en la cuenca, los que serán de acceso público y estarán disponibles en la página web de la Autoridad Nacional del Agua.