



Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Santa Resumen Ejecutivo

■ Noviembre 2015



■ ÍNDICE

LISTADO DE ACRÓNIMOS.....	IV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Ámbito.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. MEtodología.....	1
1.4. Contenido.....	1
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA.....	2
3. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA E INFRAESTRUCTURAS.....	6
4. RECURSOS HÍDRICOS.....	6
4.1. Estudio hidrometeorológico e hidrométrico.....	9
4.2. Modelamiento Hidrológico y disponibilidad hídrica.....	10
4.3. Cambio Climático.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1. Síntesis Hidrogeológica de la Cuenca.....	14
5.2. Recursos Hídricos Subterráneos.....	15
5.3. Control del Acuífero.....	15
5.4. Calidad de agua.....	16
6. USOS Y DEMANDAS EXISTENTES.....	16
7. DERECHOS DE USO DEL AGUA.....	20
8. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LOS TRAMOS DE INTERÉS.....	20
9. BALANCE HÍDRICO.....	21
9.1. Modelo de gestión.....	21
9.2. Balance de la cuenca en la situación actual.....	25
9.3. Escenarios de aprovechamiento Hídrico Futuro.....	31
10. CALIDAD DE LAS AGUAS.....	38
10.1. Inventario de fuentes de contaminación.....	39
10.2. Evaluación del estado de los cuerpos de agua.....	39
10.3. Contraste de la calidad del agua con las presiones inventariadas.....	40
11. EVENTOS EXTREMOS Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA.....	41
11.1. Inundaciones.....	41
11.2. Sequías.....	42
11.3. Variabilidad Climática.....	42
12. DINÁMICA FLUVIAL: EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	43
13. PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO.....	44
13.1. Potencial Hidroeléctrico.....	44
13.2. Potencial de Almacenamiento.....	44
13.3. Lineamiento para el aprovechamiento óptimo de la riqueza hídrica.....	45

■ ÍNDICE

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
14.1. Conclusiones	46
14.2. Recomendaciones.....	50

■ ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secuencia de acciones del enfoque metodológico	1
Figura 2. Ámbito político de la cuenca Santa.	5
Figura 3. Cuencas aportadoras a los puntos de control.	8
Figura 4. Evolución de la precipitación anual promedio (total de estaciones).....	9
Figura 5: Esquema conceptual del modelo.....	11
Figura 6. Aportación total anual de la cuenca. Periodo completo: 1965-2013. Modelo hidrológico.....	13
Figura 7. Aportación media mensual en régimen natural Periodo completo: 1965-2013. Modelo hidrológico.....	14
Figura 8. Sistema de irrigación Santa, Proyecto Especial Chavimochic y Proyecto Especial Chincas.....	18
Figura 9. Resumen de derechos de uso de agua en la cuenca.	20
Figura 10. Esquema del modelo de gestión de la cuenca: vista general	23
Figura 11. Oferta natural anual y media mensual de la cuenca. Periodo 1965-2013.	25
Figura 12. Usos actuales del agua supuestos en el modelo.....	26

■ ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica.....	2
Tabla 2. Estaciones y periodo de calibración y validación.....	12
Tabla 3. Balance anual, cuenca de Santa. Fuente: propia.....	15
Tabla 4. Demanda actual y futura para los distintos usos existentes.....	19
Tabla 5. Resultados de los caudales ecológicos mensualizados en los tramos prioritarios.....	21
Tabla 6. Prioridades según tipo de uso en el modelo de gestión.....	22
Tabla 7. Subsistemas definidos para análisis de balance y subcuencas incluidas en cada uno.....	25
Tabla 8. Resumen de las demandas aplicadas al modelo.....	25
Tabla 9. Volumen útil de las represas y lagunas del modelo de gestión de la cuenca.....	26
Tabla 10. Características de los canales incluidos en el modelo de gestión de la cuenca.....	27
Tabla 11. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos. Modelo de gestión Santa. Situación actual.....	29
Tabla 12. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes. Modelo de gestión Santa. Situación Actual.....	30
Tabla 13. Cumplimiento de los caudales ecológicos. Modelo de gestión. Situación actual.....	31
Tabla 14. Variación de las demandas en situación futura.....	31
Tabla 15. Volumen medio mensual de la oferta de la serie histórica y la afectada por el cambio climático.....	32
Tabla 16. Caudales ecológicos incluidos en el modelo futuro.....	33
Tabla 17. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos. Modelo de gestión. Situación futura.....	34
Tabla 18. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos. Modelo de gestión. Situación futura con cambio climático.....	35
Tabla 19. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes. Modelo de gestión. Situación futura.....	36
Tabla 20. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes. Modelo de gestión. Situación futura con cambio climático.....	37
Tabla 21. Índices de variabilidad climática seleccionados para el estudio.....	43

LISTADO DE ACRÓNIMOS

A continuación se muestra el listado de acrónimos utilizados en el presente informe:

Acrónimo	Institución/Organismo
AAA	Autoridad Administrativa del Agua
AMO	Oscilación Multidecadal del Atlántico
ANA	Autoridad Nacional del Agua
ANP	Áreas Naturales Protegidas
CES	Coeficiente de Entrega de Sedimento
CH	Central Hidroeléctrica
COVARS	Asociación Autogestionaria de Usuarios de Agua del Río Santa y Otros Servicios
DARH	Dirección de Administración de Recursos Hídricos
DCPRH	Dirección de Conservación y Planificación de Recursos Hídricos
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
ECA	Estándar de Calidad Ambiental
EH	Estación Hidrométrica
EPS	Entidad Prestadora de Servicios
ENOS (ENSO)	El Niño Oscilación Sur
EROS	Earth Resources Observation and Science Center
IAHRIS	Índices de Alteración Hidrológica en Ríos
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
INGEMMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
IPE (SPI)	Índice de Precipitación Estándar
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
JASS	Juntas Administradoras de Servicio y Saneamiento
LENSO	La Niña
MEI	Índice Multivariante ENSO
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PAVER	Programa de Adecuación de Vertimientos
PDO	Oscilación Multidecadal del Pacífico
PROFODUA	Programa de Formalización de Derechos de Usos de Agua
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SOI	Índice de Oscilación Sur
USGS	Investigación Geológica de Estados Unidos

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ÁMBITO

La cuenca del río Santa tiene una extensión de 11 661,53 km² y se ubica en la costa central del Perú, en el sector septentrional del departamento de Ancash.

1.2. OBJETIVOS

El **objetivo principal** de este estudio es determinar la disponibilidad hídrica de la cuenca Santa con un modelo de soporte para la toma de decisiones; situación ésta conceptuada como una cualidad o condición de disponible; es decir, determinar el volumen mensualizado de recursos hídricos en la cuenca, que la 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, se busca 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** define de forma general la secuencia de acciones a emprender para lograr los objetivos perseguidos en la evaluación de los recursos hídricos en doce cuencas del Perú.

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

Los pasos a seguir en la consecución de los trabajos siguen las fases que se especifican a continuación:



Figura 1. Secuencia de acciones del enfoque metodológico

1.4. CONTENIDO

Este Resumen Ejecutivo forma parte del Estudio de Evaluación Recursos Hídricos correspondiente a la cuenca Santa, el cual 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).

Por otro lado, además del informe el estudio comprende un USB que 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 del río Santa pertenece a la Región Hidrográfica del Pacífico, como parte de la Unidad Hidrográfica 137. Limita al N con las cuencas de los ríos Chao, Viru, Moche, Crisnejas y Alto Marañón; por el sur con las cuencas de los ríos Fortaleza y Pativilca; por el este con la cuenca del río Alto Marañón; y por el oeste con las cuencas de los ríos Lacramarca, Nepeña, Casma, Huarmey y el Océano Pacífico.

La cuenca del río Santa se ubica entre las coordenadas geográficas que se indican en la siguiente tabla:

Sistemas	Datum	Componentes	Valor	
			Mínimo	Máximo
Coordenadas Geográficas	Horizontal WGS 84	Longitud Oeste	77°12'	78°38'
		Latitud Sur	8°4'	10°8'
Coordenadas UTM Zona 17	Horizontal WGS 84	Metros Este	758900	809661
		Metros Norte	9008074	9118229
Coordenadas UTM Zona 18	Horizontal WGS 84	Metros Este	254264	261765
		Metros Norte	8868698	8903421
Altitud	Vertical Nivel Medio del Mar	msnm	0	6768 msnm Nevado Huascarán

Tabla 1. Ubicación geográfica.

La cuenca del río Santa pertenece a la **Autoridad Administrativa del Agua IV – Huarmey Chicama**, y comprende las Administraciones Locales del Agua de Huaraz, Santa-Lacramarca-Nepeña y Santiago de Chuco.

Tiene una extensión de 11 661,53 km², de los cuales aproximadamente 10 405 km² corresponden a la cuenca húmeda, situada por encima de los 2 000 msnm. La longitud promedio de la cuenca es de aproximadamente 316 km hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, siendo su ancho promedio de 38 km. Comprende altitudes desde el nivel del mar hasta los 6 768 msnm, correspondiente al nevado Huascarán.

El escurrimiento superficial del río Santa se origina de las precipitaciones en la cuenca alta y, además, en los deshielos de la cordillera Blanca, cuyos aportes contribuyen a mantener considerable descarga, aun en época de estiaje, lo cual hace del río Santa uno de los más regulares de la Costa peruana.

El río Tablachaca, principal tributario de la cuenca Santa, tiene su origen en la laguna Pelagatos y hace gran parte del recorrido. Sus tributarios son los ríos Conchucos, Sacycacha-Huandoval, Boca de Cabana y Ancos, por la margen izquierda; y los ríos Angasmarca, Santiago y Patarata, por la margen derecha. El río Tablachaca se une con el río Santa en el poblado de Chuquicara, a una altura de 440 msnm.

Existen numerosas **lagunas** en la cuenca, destacando en base a su volumen, desde aguas arriba hacia abajo, las lagunas de Conococha, Aguascocha, Rajucolta, Parón y Cullicocha, ubicadas todas ellas en la parte alta de la cuenca. En la parte alta de la cuenca se ubican nevados y glaciares que contribuyen a mantener la descarga del río Santa en forma continua.

Posee un **relieve** que varía de muy escarpado, con pendientes superiores al 70% en ecosistemas de Nivel tropical y tundra; a llano en la zona costera en ecosistemas desérticos. A nivel fisiográfico, en esta cuenca se pueden diferenciar Pampas Costaneras (constituidas por terrazas aluviales y marinas, abanicos aluviales, dunas y mantos de arena), el Flanco Occidental de los Andes (de fuerte pendientes intensamente disectadas por numerosos valles profundos) y el Altiplano (de topografía suave y más o menos ondulada).

Las **unidades fisiográficas** predominantes son las vertientes montañosas y colinas empinadas a escarpadas, con el 27,0% de la superficie total, la vertiente montañosa empinada a escarpada con el 42,5%. Esto implica que casi del 80% del territorio de la cuenca de Santa consiste en vertientes montañosas o colinas de fuerte pendiente, de empinadas a escarpadas.

Los **suelos** líticos constituyen en conjunto casi el 80% de los suelos existentes en la cuenca. La mayor parte de la superficie de la cuenca se considera de calidad agronómica baja con un 66,7 % del total. El 20,5% se clasifica como suelo de protección de producción forestal de baja calidad agronómica, clasificándose el resto en cultivos permanentes, pastos temporales. Algunos cultivos requieren de riego suplementario. El cultivo de calidad agrológica alta y media, solo representan el 0,5% del total de área de la cuenca.

El **uso actual de suelo** más significativo en cuanto a extensión es el de pradera y arbustos (73,9%), que comprende las partes altas de estas cuencas, a partir de la cota aproximada de 2 000 msnm hasta las cumbres de las Cordilleras Blanca y Negra. Le sigue la zona agrícola (11,1% %) que situada fundamentalmente en el eje longitudinal de la cuenca. Finalmente, con mucha menor superficie (8,0%), se encuentran las áreas desérticas situadas en la zona más cercana a la costa y las zonas de nieve (6,6%), en la parte más interior de la cuenca. Por su parte, la cobertura vegetal más significativa en cuanto a extensión es la de tipo forestal (59,4%), que agruparía el pajonal altoandino, el matorral arbustivo, el bosque relicto altoandino y la plantación forestal. La agricultura costera y andina también representa un superficie significativa de la cuenca (17,0%) situada fundamentalmente en el eje longitudinal de la cuenca y en la parte más baja de la cuenca.

En el ámbito de la cuenca Santa se distinguen 16 **sistemas ecológicos**, que incluyen bosque seco, húmedo y muy húmedo, desierto desecado, perárido y superárido, estepa y estepa espinosa, matorral desértico, monte espinoso, nival, páramo húmedo y muy húmedo, tundra húmeda, muy húmeda y pluvial. Además, se localizan las **Áreas Naturales Protegidas** del Parque Nacional Huascarán, la Reserva Nacional de Calipuy, así como la Isla Santa y el Islote Corcovado, que forman parte de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras.

La **población** habitante en la cuenca se estima en 366 600 en 2015, y se encuentra principalmente en la provincia de Huaraz (40,2%). La tasa de analfabetismo en el departamento de Áncash es del 12,4%, mientras que en el departamento de La Libertad es de 8,1%.

La **actividad agrícola** es la predominante en la Región. En la costa la agricultura es intensiva, tecnificada y con utilización de maquinarias; mientras que en la zona andina es principalmente de secano y de carácter extensivo. La pesca marítima es una actividad trascendental en la región. Chimbote es uno de los principales puertos pesqueros del país y del mundo.

En cuanto a **minería**, la región cuenta con una de las reservas más grandes que tiene el Perú en cobre y otros minerales (Antamina, la Galgada y Ancos). La **generación de energía** tiene su mejor exponente en la central hidroeléctrica del Cañón del Pato, con una potencia energética instalada de 150 MW.

El desarrollo **industrial** está concentrado en la ciudad de Chimbote y se sustenta en las industrias pesquera y siderúrgica. En el Callejón de Huaylas, el **turismo** es una actividad económica muy importante. Inventario de fuentes de agua e infraestructura.

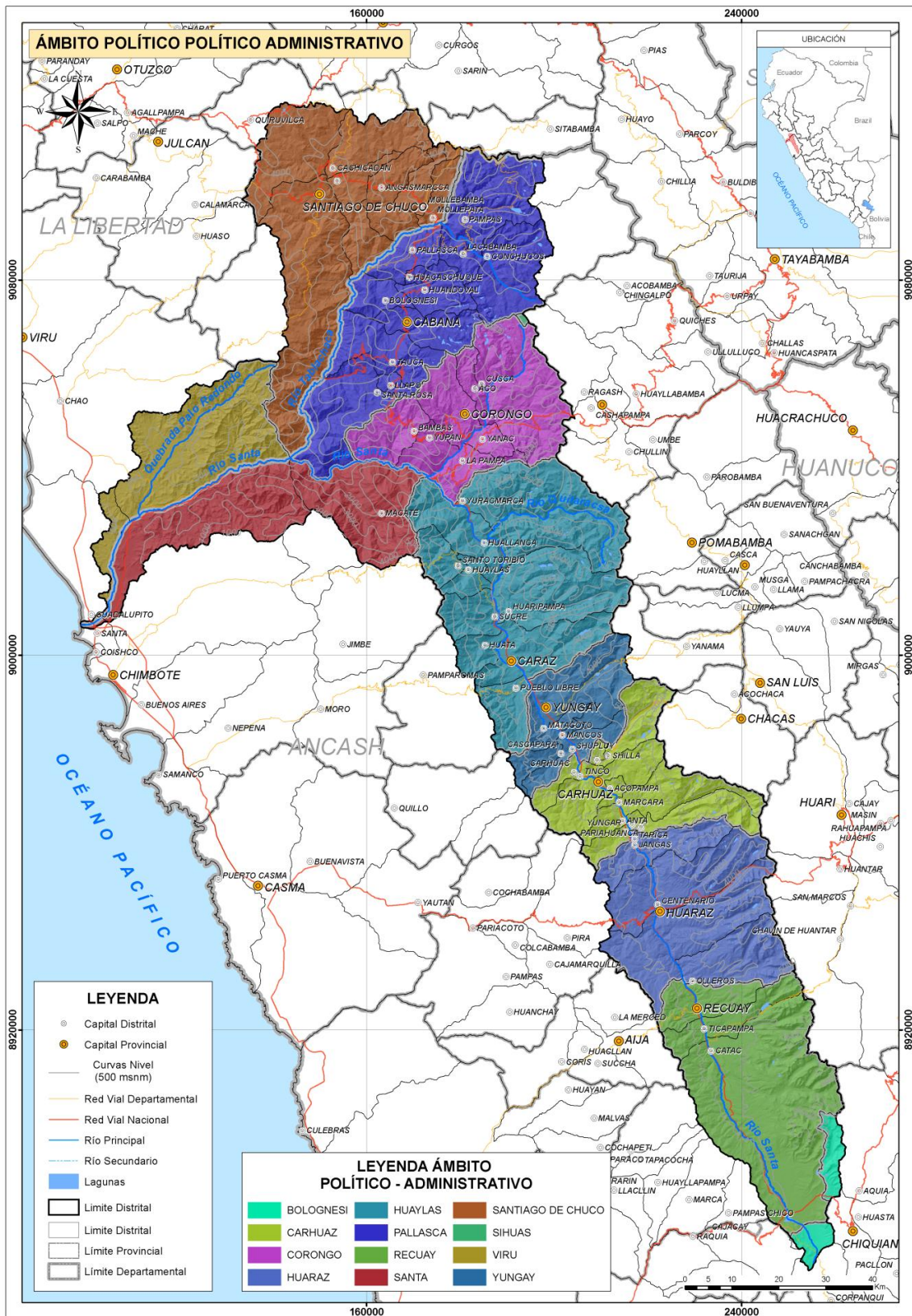


Figura 2. Ámbito político de la cuenca Santa.

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 Santa está constituida por un río principal: el Santa y por 4 afluentes importantes (Quitaracsa, Tablachaca, Palo Redondo y Manta). Otros ríos y quebradas relevantes son Recreta, Pachocoto, Querococha, Olleros, Rajucolta, Quillcay, Chancos, Llanganuco, Parón, Colcas y Los Cedros.

El total de **lagunas naturales** comprendidas dentro del ámbito de la cuenca del río Santa es de 358. Se han inventariado 4 lagunas principales, por ser lagunas reguladas con fines energéticos, que se corresponden con las lagunas Parón, Cullicocha, Aguashcocha y Rajucolta

Se han inventariado un total de 368 **manantiales**. La mayoría de ellos corresponden a pequeños manantiales (el 70% de ellos tienen un caudal aforado igual o inferior a 0,5 l/s). De los 108 manantiales con caudal superior a 0,5 l/s 25 se destinan a uso poblacional y 83 a uso agrícola y pecuario. Los **bofedales** no influyen en la disponibilidad hídrica de la cuenca Santa, no disponiendo de estructuras de captación y siendo todos de uso primario (abreviar el ganado). Se han inventariado 44 bofedales

Se han inventariado 548 **glaciares** en la cuenca Santa, 11 de ellos (Tullparaju, Artesonraju, Kinzl, Raimondi, Rajupaquinan, Copa, Pucaranra, Pacliash, Palcaraju, Shallap y Schneider) tienen una superficie superior a 5 km². Los 62 más importantes, en base a la superficie, se encuentran por encima de la cota 4 500 m.

Las **lagunas represadas** con fines de regulación en la cuenca Santa, todas ellas para abastecer a la central hidroeléctrica del Cañón del Pato, son las lagunas Parón, Cullicocha, Aguashcocha y Rajucolta. Existen 5 **centrales hidroeléctricas**: Cañón del Pato, Santa Cruz I, Santa Cruz II, Pariac y Tanguche.

Se ha identificado un total de 346 **bocatomas**, la mayoría de ellas de uso agrícola, seguidas del uso poblacional. Además, se ha identificado un total de 1 503 **canales**. Solo 7 de ellos están recubiertos en su totalidad por concreto. El resto se encuentran sin revestir o revestidos parcialmente.

Se han inventariado 56 **pozos**, prácticamente todos situados en la parte baja de la cuenca, en los distritos de Santa y Chimbote, a excepción de dos de ellos que se sitúan en la parte alta de la misma, en los distritos de Huaraz e Independencia. En cuanto a su tipología, 51 de ellos son a tajo abierto, 4 tubulares y 1 mixto, siendo a tajo abierto la mayor parte de los existentes en la parte baja de la cuenca y tubulares o mixtos los dos pozos que se ubican en la parte alta de la cuenca. Casi la mitad de ellos, un total de 25 pozos, se encuentran fuera de servicio actualmente, por haber sido sellados, mientras que los 31 restantes sí que se utilizan, como se muestra en la siguiente tabla. Respecto al **uso de los pozos**, todos los inventariados son de uso no agrario, con uso recreativo, minero y doméstico respectivamente.

4. RECURSOS HÍDRICOS

El estudio hidrológico de la cuenca Santa 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.

La cuenca Santa se corresponde con la unidad hidrográfica 1376 de nivel 4 de Pfafstetter, por lo que para definir las subcuencas se parte de las unidades hidrográficas de nivel 5, sobre las que en la mayoría de casos se ha generado un grado de división mayor previo análisis de las características topográficas, ecológicas e hidrológicas para poder analizar cada una de ellas de forma particular, que se corresponden con las cuencas colectoras de los ríos tributarios más importantes, así como se ha tenido en cuenta para la división la ubicación de las demandas, los trasvases y represas en situación actual o futura y la localización de las estaciones de aforo, basándose siempre que ha sido posible en la división de nivel 5 de Pfafstetter. El resultado es la subdivisión de la cuenca en **29 subcuencas**.

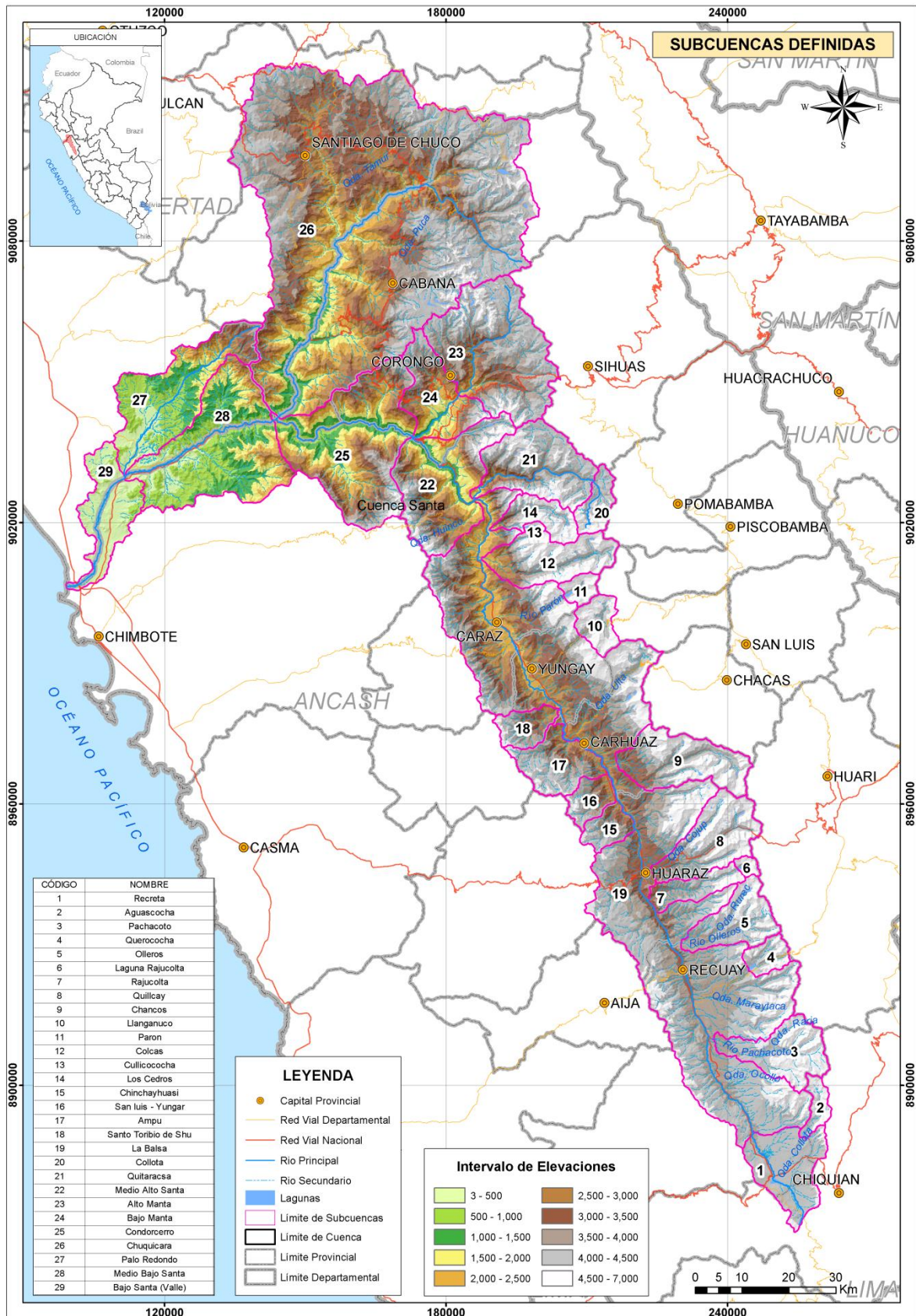


Figura 3. Cuenas aportadoras a los puntos de control.

4.1. ESTUDIO HIDROMETEOROLÓGICO E HIDROMÉTRICO

La **temperatura promedio** multianual en el periodo estudiado (1965 – 2013) es de unos 8°C, estableciéndose un gradiente térmico medio de, aproximadamente, -0,6 °C y -0,25 °C cada 100 m para altitudes mayores y menores a 2 500 msnm respectivamente.

La **humedad relativa** promedio se sitúa en torno al 70%, teniendo un mismo patrón de variabilidad anual, con máximos de humedad los meses de marzo-abril y mínimos los meses de julio-agosto.

La **velocidad del viento** presenta poca variabilidad estacional siendo la velocidad promedio de 1 m/s.

En cotas bajas los mínimos de **evaporación medida** se producen en los meses de junio y julio mientras que en las estaciones de mayor altitud los máximos se suceden en los meses de noviembre a enero.

La **evapotranspiración potencial** promedio multianual se ha situado para el periodo estudiado entorno a los 1 243 mm/año. Aumenta con la altitud, teniendo una variación anual diferente entre las estaciones de altitud elevada y las de las zonas más bajas.

La **precipitación total promedio** multianual para el periodo estudiado es de unos **758 mm**, presentando tanto una variabilidad anual, que concentra los valores más elevados en los meses de diciembre a marzo y los más reducidos en los meses de junio, julio y agosto, como una variabilidad espacial, presentándose los mayores valores de precipitación en las cuencas la Balsa y la cordillera Blanca.

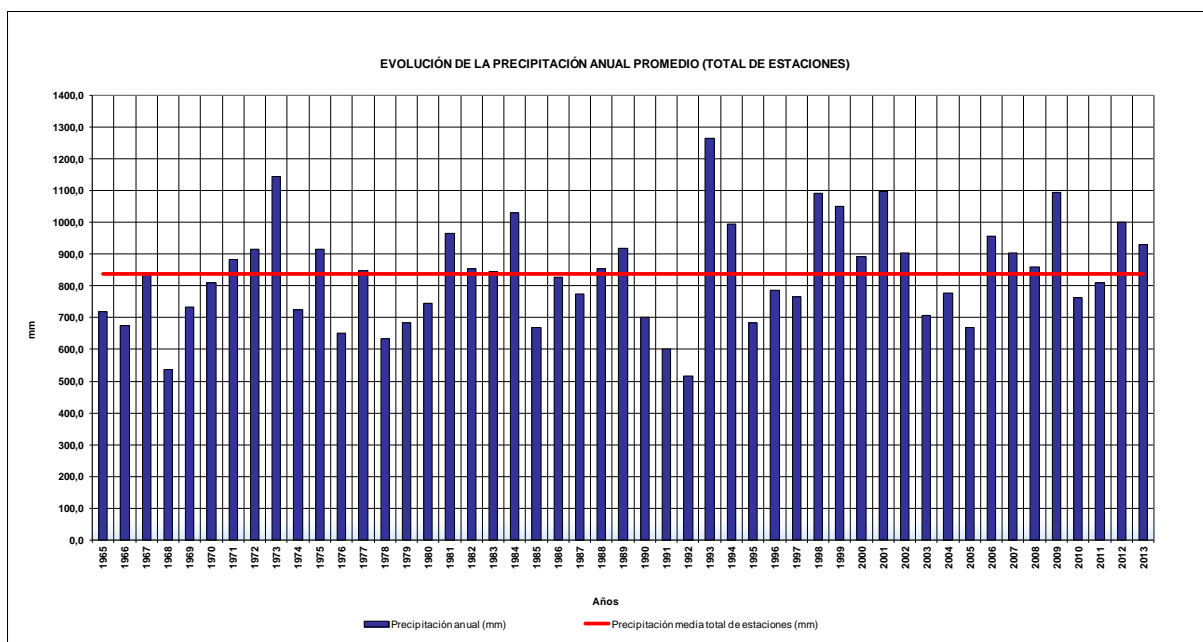


Figura 4. Evolución de la precipitación anual promedio (total de estaciones).

La precipitación en el Bajo Santa presenta en general valores más altos los meses de febrero y marzo. En la zona baja del valle, aunque esta tendencia se mantiene, la variabilidad es mucho menor, siendo la precipitación escasa a lo largo del año. La precipitación en el Alto Santa presenta una variabilidad importante entre las estaciones seca y húmeda, siendo marzo el mes más lluvioso y teniendo precipitaciones escasas los meses de junio, julio y agosto.

La cuenca del río Santa tiene 12 estaciones de aforo, 3 de las cuales están en el cauce principal del río Santa y las restantes en diversos afluentes.

Cabe destacar la estación de Condorcerro pues recoge la mayor parte de aportación de la cuenca húmeda y se encuentra ubicada antes de la zona de riego del valle de Santa. También es importante la estación ubicada al final de la subcuenca de Santa puesto que recoge el caudal de la mayor parte de la cuenca húmeda.

La densidad de **estaciones de registro pluviométrico** en la cuenca funcionando en la actualidad es insuficiente de acuerdo a las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial. Además, las altitudes bajas están muy poco caracterizadas y las estaciones se concentran más en el sur de la cuenca alta y el valle, quedando poco cubierta la cuenca media y el Bajo Santa. Respecto de las estaciones que reportan **datos climáticos** (red climatológica), el número de estaciones en funcionamiento es suficiente

Por otra parte, la **distribución espacial** de las estaciones que reportan datos de precipitación (red pluviométrica y climatológica) según las recomendaciones de la OMM es insuficiente. Y en la **distribución altimétrica** de las estaciones que reportan datos de precipitación, se pone de manifiesto el reparto desigual en altura de las estaciones, quedando muy poco caracterizadas las altitudes bajas. Además, la zona del Bajo y Medio Santa queda insuficientemente caracterizada.

En cuanto a las **estaciones de registro hidrométrico**, el número de estaciones en la cuenca funcionando en la actualidad es insuficiente, desde un punto de vista global. Únicamente hay 3 estaciones funcionando en 3 puntos de control en ríos. La parte del Valle está bastante controlada con dos estaciones. Sin embargo toda la zona baja no dispone de mediciones, por lo que no se puede controlar el caudal disponible para las derivaciones. En toda la zona de la Cordillera Blanca no se dispone de ninguna estación por lo que no hay un control de los caudales provenientes de los glaciales y nevados.

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 en dichas estaciones y además se ajusta la gestión de los embalses que hay en el sistema, puesto que esta 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 5: Esquema conceptual del modelo.

El modelo hidrológico describe el comportamiento de la cuenca de manera semidistribuida en en las 29 subcuencas, constituyendo éstas unidades de análisis hidrológico a las que se denominan *catchments*.

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:

- **Rio (River):** Lo constituyen el río Santa como río principal y los ríos secundarios: Recreta, Pachacoto, Querococha, Olleros, Rajucolta, Quillcay, Chancos, Chinchayhuasi, San Luis – Yungar, Ampu, Shupluy, Llanganuco, Parón, Colcas, Cullicocha, Los cedros, Collota – Quitaraca, Corongo, Tablachaca y Palo Redondo, haciendo un total de 21 ríos.
- **Reservorios (Reservoir):** En el esquema del sistema Santa se incluyeron los reservorios Aguascocha, Rajucolta, Lag. Llanganuco, Reservorio Parón y Lago Cullicocha.
- **Captaciones (Catchment):** Representan el área colectora de la precipitación, el cual genera una escorrentía superficial producto de la precipitación y/o fusión de hielo y nieve, el cual adiciona un caudal determinado hacia los ríos. En el modelo se han creado 216 catchments.
- **Nodos de Demanda (Demand Site):** Representan la toma de agua para uso minero, industrial, agrícola y poblacional.
- **Aforos (Streamflow gauge):** Lo constituyen las estaciones de aforo presentes en la cuenca, y son utilizados para la calibración del modelo.
- **Centrales hidroeléctricas (Run of river hydro):** Lo constituyen las centrales de generación hidroeléctrica ubicadas en el ámbito de la cuenca, entre las cuales tenemos: Central Hidroeléctrica Pariac, Centrales Hidroeléctricas Santa Cruz 1 y Santa Cruz 2, y la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato.
- **Manantiales (Other supply):** Son elementos que representan la oferta de agua proveniente de fuentes superficiales, usado mayormente para abastecimiento poblacional.

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

Subcuencas incluidas	Estaciones calibración/validación		
	Estaciones	Periodo Calibración	Periodo Validación
Recreta Aguascocha	EH Recreta	1970-1984	1985-1994
Aguascocha, Recreta, Pachacoto, Querococha, Olleros, Rajucolta, Laguna Rajucolta, Quillcay, Chancos, Chinchayhuasi, San Luis – Yungar, Ampu, Shupluy, Llanganuco, Parón y Colcas.	EH La Balsa	1970-1984	1985-1994
Todas las subcuencas a excepción de Palo redondo, Medio Bajo Santa y Bajo Santa (Valle)	EH Condorcerro	1970-1984	1985-1994
Pachacoto	Pachacoto		1970-1994
Querococha	Querococha		1970-1994
Olleros	Olleros		1970-1994
Collota, Quitaracsa	Quitaracsa		1970-1994
Alto Manta, Bajo Manta	Manta		1970-1994
Chuquicara	Chuquicara		1970-1994

Tabla 2. Estaciones y periodo de calibración y validación.

El modelo hidrológico describe el comportamiento de la cuenca de manera semidistribuida en en las 29 subcuencas, constituyendo éstas unidades de análisis hidrológico a las que se denominan *catchments*.

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:

- **Rio (River):** Lo constituyen el río Santa como río principal y los ríos secundarios: Recreta, Pachacoto, Querococha, Olleros, Rajucolta, Quillcay, Chancos, Chinchayhuasi, San Luis – Yungar, Ampu, Shupluy, Llanganuco, Parón, Colcas, Cullicocha, Los cedros, Collota – Quitaracsa, Corongo, Tablachaca y Palo Redondo, haciendo un total de 21 ríos.
- **Reservorios (Reservoir):** En el esquema del sistema Santa se incluyeron los reservorios Aguascocha, Rajucolta, Lag. Llanganuco, Reservorio Parón y Lago Cullicocha.
- **Captaciones (Catchment):** Representan el área colectora de la precipitación, el cual genera una escorrentía superficial producto de la precipitación y/o fusión de hielo y nieve, el cual adiciona un caudal determinado hacia los ríos. En el modelo se han creado 216 catchments.
- **Nodos de Demanda (Demand Site):** Representan la toma de agua para uso minero, industrial, agrícola y poblacional.
- **Aforos (Streamflow gauge):** Lo constituyen las estaciones de aforo presentes en la cuenca, y son utilizados para la calibración del modelo.
- **Centrales hidroeléctricas (Run of river hydro):** Lo constituyen las centrales de generación hidroeléctrica ubicadas en el ámbito de la cuenca, entre las cuales tenemos: Central Hidroeléctrica Pariac, Centrales Hidroeléctricas Santa Cruz 1 y Santa Cruz 2, y la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato.
- **Manantiales (Other supply):** Son elementos que representan la oferta de agua proveniente de fuentes superficiales, usado mayormente para abastecimiento poblacional.

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

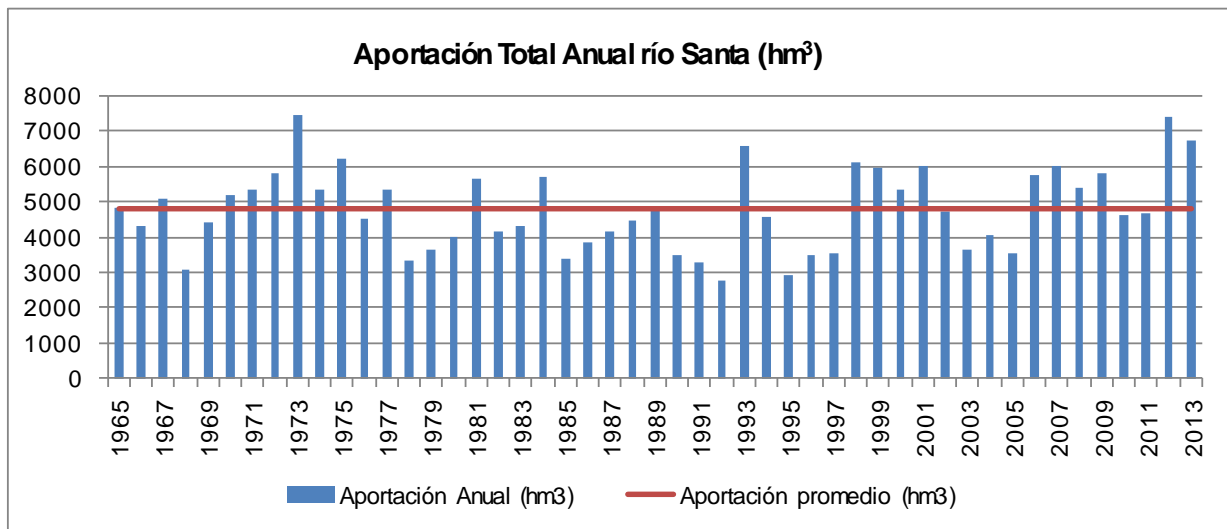


Figura 6. Aportación total anual de la cuenca. Periodo completo: 1965-2013. Modelo hidrológico

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 las de los años 78-80 ó 90-92.

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 8.5** definido en el Quinto Informe de IPCC (AR5), y que supone un incremento del 1,1% de la temperatura y un aumento del 2% de la precipitación. Se ha tomado este escenario por ser el escenario pésimo de los planteados.

Estos incrementos se han aplicado a las series históricas de precipitación y temperatura, obteniendo las series de recursos con hipótesis de cambio climático a partir del modelo hidrológico. Estas series son el input del modelo de gestión con hipótesis de cambio climático.

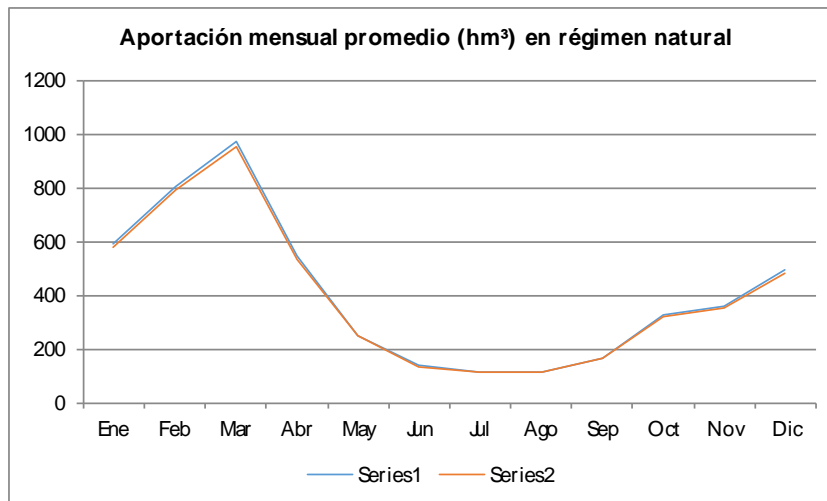


Figura 7. Aportación media mensual en régimen natural Periodo completo: 1965-2013. Modelo hidrológico

El incremento de precipitación y de temperatura se traduce en un incremento de caudal en la época húmeda y un descenso de éste en época de estiaje.

En las cuencas bajas el incremento en época húmeda es despreciable y el descenso es más notable durante los estiajes. Esto es debido a que en estas cuencas la precipitación tiene poca importancia y se acusa más el incremento de la temperatura derivado de la hipótesis de cambio climático.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA

En la cuenca se encuentran inventariados 355 manantiales, estando la mayoría en el Grupo Calipuy en un rango de cotas de 3 000 msnm a 3 500 msnm, La mayor proporción de manantiales se encuentran surgiendo de las rocas volcánicas del Grupo Calipuy, agrupando 282 manantiales identificados, y de la Formación Chimú que consiste principalmente de estratos comunes de areniscas, en el que se identifican 27 manantiales

La cuenca Santa tiene la particularidad de que más del 70% de su superficie se da en territorios altos en la cordillera de Los Andes, en el recorrido del río de dirección SE – NW de aproximadamente 150 km, por lo tanto, atraviesa diferentes tipos de macizos rocosos en una región con importante presencia de lluvias.

Se han identificado tres acuíferos en región de montaña en macizos rocosos en formaciones geológicas sedimentarias de edad Cretácico inferior (Formación Chimú), con flujo en medio fracturado. Estos acuíferos han sido denominados Lagunas Norte, Santa Rosa y Pierina.

Existe un acuífero en actual explotación en la región costera, denominado acuífero Santa. Es un acuífero emplazado en el cono deyectivo del río Santa, constituido por depósitos detríticos aluviales, con tipo flujo en medio poroso.

Se ha realizado un monitoreo puntual con este estudio en 2015, midiendo niveles dinámicos en 14 pozos.

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

Las condiciones de contorno para el acuífero detrítico no consolidado de origen aluvial son:

- Límites abiertos con los materiales detríticos no consolidados con los que hay contacto en los borde Norte y Sur, siempre en la cuenca baja y con los depósitos marinos y salida al mar.
- Límites abiertos con las rocas sedimentarias detríticas de la Formación Chimú en la parte alta de la cuenca, definidas como acuífero fisurado sedimentario.
- Límites cerrados en el contacto con el resto de materiales, definidos como acuitardos o acuicludos, pues se considera que no hay posibilidad de recarga.

5.2. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

La reserva útil explotable del acuífero Santa se ha estimado en 12,72 hm³. En el balance las salidas las constituyen las demandas y las salidas al mar. Las demandas son del orden 1.87 hm³/a y las salidas al mar de 5.6 hm³/a. El volumen inicial considerado: 12.72 hm³/a, el volumen final 15.90 hm³/a, dando una variación de volumen de 3.18 hm³/a. Así, es un balance positivo.

ENTRADAS		SALIDAS		BALANCE	VARIACION DE VOLUMEN		Variacion volumen
					Volumen inicial	volumen final	
Recarga Natural-Lluvia	0.0000	Demandas	1.8730	0.0631	12.7226	15.9030	3.1804
Filtraciones Rios	3.7165	Salidas al mar	5.6748				
Retornos	3.8944	-	-				
TOTAL ENTRADAS	7.6109	TOTAL SALIDAS	7.5478				

Tabla 3. Balance anual, cuenca de Santa. Fuente: propia.

5.3. CONTROL DEL ACUÍFERO

La red piezométrica del acuífero Santa, está conformada por 31 pozos cuyo emplazamiento se distribuye en los siguientes distritos: Santa: 25, Coishco: 3, Chimbote: 3, Incluye pozos de diferentes profundidades, pero ninguno mayor a 40m. La información acerca de las zonas ranuradas de admisión del agua no está sistematizada porque la tubería ranurada en la mayoría de los casos se encuentra ubicada en casi todo el espesor saturado sin ningún tipo de sello impermeable. No contempla pozos de profundidad mayor a 35m, por lo que la zona del acuífero en la que están emplazados los pozos de más de 50m., no está monitoreada. No se lleva un control de la cota del nivel del agua para monitorear niveles relacionados a cotas debajo del nivel del mar.

Se propone:

- Incluir en la red por lo menos tres pozos profundos que tengan como mínimo 20m debajo del nivel del mar, ubicados en triángulo
- Incluir nueve pozos a lo largo de la margen izquierda del río desde 1 km del litoral hasta la zona de El Castillo: 3 alternos que controlen la cota del agua 5 msnm, 3 alternos que controlen la cota 10 msnm, 3 alternos que controlen la cota 15 msnm (de más de 40m de profundidad). Todos con ranurado solamente en su tercio inferior (nunca en toda su longitud del nivel saturado).

- Frecuencia del monitoreo; trimestral para el control estacional y relación río acuífero.

5.4. CALIDAD DE AGUA

En la cuenca se han identificado 4 acuíferos: tres en la parte alta zona de montaña (Lagunas Norte, Santa Rosa y Pierina); y uno en la parte baja, región costera (Santa).

Los acuíferos de la región montañosa son aún poco conocidos, y la información obtenida proviene de estudios de impacto ambiental y no necesariamente de campos de bombeo, por lo que solo se identificó la familia química más representativa. De igual manera, para el acuífero de la región costera Santa.

El acuífero Lagunas Norte emplazado en la Formación Chimú, la familia química es Bicarbonatada cálcica con pH 8.5, CE 1,056 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El acuífero Pierina emplazado en la Formación Chimú también, la familia química es Clorurada cálcica, pH.

En el acuífero detrítico Santa se tiene principalmente familia química Clorurada sódica y bicarbonatada cálcica.

6. USOS Y DEMANDAS EXISTENTES

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 cuanto al **uso poblacional**, en Santiago de Chuco los usuarios están organizados en Juntas Administradoras o Comités de Obras. Las fuentes de agua de uso poblacional son en su gran mayoría manantiales de poco caudal, apoyados con reservorios para almacenar el agua y luego distribuirla a la población. El principal usuario de agua poblacional en la cuenca alta es la EPS Chavín. Ya en la parte baja de la cuenca, el uso poblacional del agua se realiza tanto mediante las aguas superficiales del río Santa como a través de fuentes de captaciones de agua subterránea provenientes del acuífero Santa. Los principales usuarios poblacionales de esta parte de la cuenca son la Asociación Autogestionaria de Usuarios de Agua del Río Santa y Otros Servicios (COVARS) y la EPS SEDA CHIMBOTE S.A. La demanda total por este uso se estima en 23,96 MMC anuales.

El **uso agrícola** en la cuenca Santa está claramente sectorizado en 04 zonas para las que en su mayoría se han constituido organizaciones de usuarios en forma de comités de riego, comisiones de riego y juntas de usuarios: Santiago de Chuco (3 579,45 ha), Pallasca (7 132,27 ha), Valle Alto (39 600,44 ha) y

Valle Bajo (102 803,32 ha) que engloba el Proyecto Especial Chavimochic y el Proyecto Especial Chincas. La demanda anual por este uso se estima en 1 489,76 MMC.

El **uso acuícola**, no consuntivo, se concentra en la parte alta de la cuenca Santa, sobre todo en el valle alto, donde se registran la mayor parte de usuarios. La demanda total por este uso asciende a 26,58 MMC.

El **uso energético** para la generación hidroeléctrica se localiza en la cuenca alta, y no constituye un uso consuntivo. El principal usuario energético en la cuenca Santa es la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato, que está explotada por Duke Energy Egenor y aprovecha el recurso hídrico regulado en las lagunas Aguashcocha, Parón, Cullicocha y Rajucolta.

El **uso industrial** en el valle alto se abastece de manantiales localizados en la subcuenca Las Balsas, mientras que las demandas del valle bajo se abastecen de aguas subterráneas captadas del acuífero Santa. El principal usuario industrial es Siderúrgica del Perú S.A.A. La demanda total para este uso está estimada en 1,99 MMC anuales.

En la cuenca Santa se han identificado varios **usos mineros**, en su práctica mayoría abastecidos con aguas superficiales de río, manantial o quebrada. Los usos de mayor relevancia se encuentran en la subcuenca Tablachaca y son la Mina Quiruvilca, la Unidad Minera Santa Rosa, y la Unidad Minera Patibal. En cambio, la Unidad Minera Pierina, se abastece de aguas subterráneas del acuífero situado entre las microcuencas Pacchac y Pucauran. La demanda total por este uso se estima en 3,41 MMC anuales.

Se tiene constancia de dos **usos recreativos** en la cuenca Santa que se satisfacen mediante el recurso hídrico subterránea: Arturo Oliva Paredes (sector Primavera, distrito Santa) y la Federación Peruana de Fútbol (Complejo Deportivo Videnita, distrito Independencia). La demanda anual total por este uso es de 0,04 MMC.

Las demandas futuras están básicamente constituidas por las demandas de:

- El **Proyecto Especial Chavimochic**, consistente en la derivación del río Santa para irrigar 144 385 ha, de las cuales 66 075 ha son tierras nuevas (intervalles) y 78 310 ha tierras irrigadas de los valles Chao, Virú, Moche y Chicama, así como la generación hidroeléctrica en la CH de Virú 7,5 MW, en el futuro embalse Palo Redondo: CH de pie de Presa 40 MW y CH de Cola de Presa 20 MW y el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Trujillo.
- **Proyecto Especial Chincas**, consistente en la derivación del río Santa en la bocatoma La Huaca con una capacidad efectiva de captación de 32 m³/s por una conducción de 170 km, constituido por canales, tuneles, acueductos, que atraviesa los valles de Santa, Lacramarca, Nepeña hasta Casma, para irrigar 15 000 has de tierras nuevas de los intervalles y mejorar el riego de otras 30 000 ha de valles irrigados tradicionales, así como el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Chimbote.

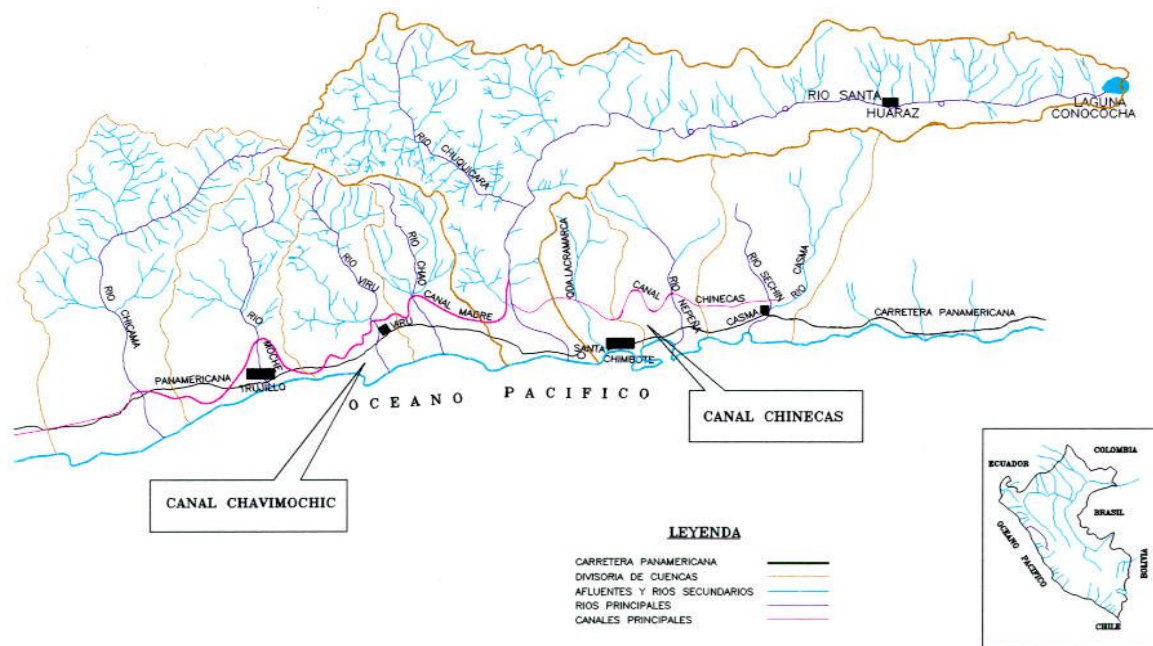


Figura 8. Sistema de irrigación Santa, Proyecto Especial Chavimochic y Proyecto Especial Chincas

Por lo que respecta a las demandas hidroenergéticas futuras, para el caso del sistema Santa Valle Bajo se circunscriben a la generación de hidroenergía con centrales de paso que no significan consumo adicional al estimado para propósitos de irrigación. Por el contrario, la CH Quitaracsa, que se encuentra en proceso de construcción en el río Quitaracsa, permitirá regular los excesos del verano del río y mejorar el flujo de abastecimiento en el estío, con una adecuada compatibilización de demandas agrícolas y energéticas.

La tabla siguiente detalla las demandas estimadas actuales y futuras:

Demanda	Horizonte	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL (MMC)
Poblacional	Actual	2,10	1,81	2,10	2,10	2,40	1,97	1,82	1,82	1,73	1,82	2,06	2,21	23,96
	Futuro	2,86	2,44	2,86	2,86	3,28	2,72	2,51	2,51	2,39	2,51	2,84	3,05	32,81
Agrícola	Actual	125,45	118,35	96,20	120,10	123,26	118,79	114,59	115,50	120,08	127,58	148,75	160,90	1 489,76
	Futuro	268,73	247,70	216,94	240,46	218,92	194,15	189,94	215,65	241,16	264,32	298,21	323,22	2 919,41
Industrial	Actual	0,17	0,15	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	1,99
	Futuro	0,40	0,36	0,40	0,38	0,40	0,38	0,40	0,40	0,38	0,40	0,38	0,40	4,67
Minera	Actual	0,29	0,26	0,29	0,28	0,29	0,28	0,29	0,29	0,28	0,29	0,28	0,29	3,41
	Futuro	0,59	0,53	0,59	0,57	0,59	0,57	0,59	0,59	0,57	0,59	0,57	0,59	6,93
Otras	Actual	2,28	2,06	2,28	2,20	2,28	2,20	2,28	2,28	2,20	2,28	2,20	2,28	26,81
	Futuro	2,26	2,04	2,26	2,19	2,26	2,19	2,26	2,26	2,19	2,26	2,19	2,26	26,63
TOTAL	Actual	130,28	122,63	101,24	124,85	128,39	123,41	119,15	120,06	124,46	132,14	153,46	165,85	1 545,94
	Futuro	274,84	253,07	223,04	246,46	225,45	200,01	195,69	221,41	246,70	270,08	304,19	329,52	2 990,45

Nota: Se han excludido los usos no consuntivos

Tabla 4. Demanda actual y futura para los distintos usos existentes

7. DERECHOS DE USO DEL AGUA

En la cuenca Santa existen un total de 26 967 derechos de uso de agua, los cuales otorgan un volumen de agua de 813,86 MMC.

En la figura siguiente se grafica la distribución de derechos de agua según el tipo de uso. Se aprecia como algo más del volumen de agua otorgado por la ANA en la cuenca Santa es para uso agrícola. El uso energético constituye también una parte considerable, del 33,2%, mientras que el uso poblacional alcanza el 8,5%. El resto de usos son residuales en comparación.

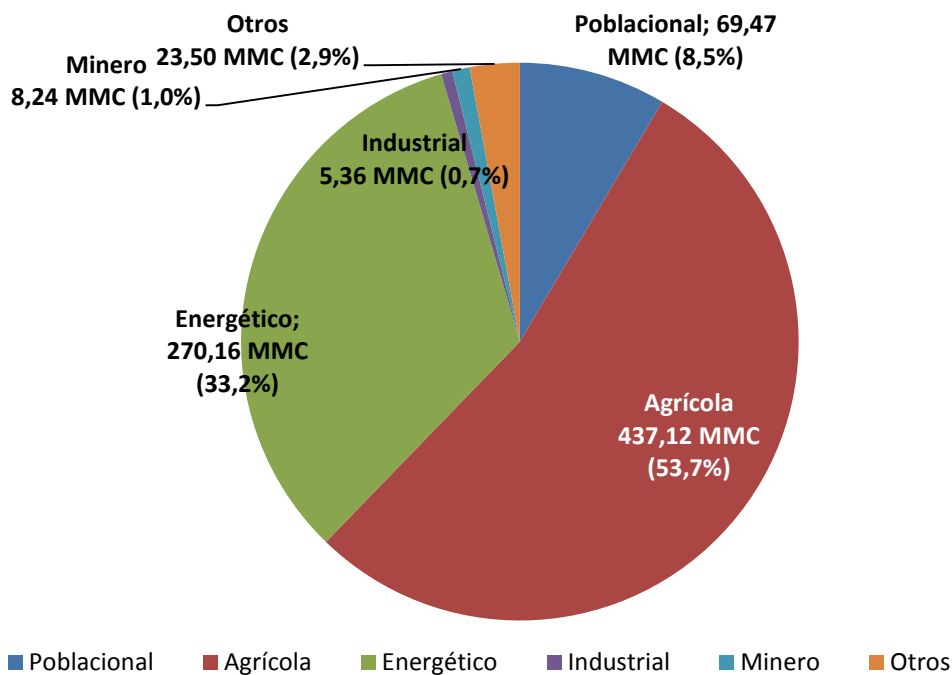


Figura 9. Resumen de derechos de uso de agua en la cuenca.

8. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LOS TRAMOS DE INTERÉS

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 16 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
01-Santa	0,43	0,77	0,73	0,38	0,30	0,17	0,13	0,13	0,16	0,28	0,35	0,44
02-Olleros	0,75	0,90	0,83	0,54	0,45	0,30	0,25	0,25	0,35	0,62	0,82	0,99
03-Rajucolta	0,33	0,30	0,33	0,27	0,25	0,07	0,06	0,07	0,12	0,29	0,31	0,37
04-Quillcay	1,11	1,32	1,21	0,88	0,80	0,59	0,52	0,54	0,64	1,02	1,20	1,43
05-Chancos	1,15	1,31	1,22	0,87	0,80	0,58	0,56	0,62	0,81	1,20	1,30	1,52
06-Ampu	0,43	0,66	0,70	0,35	0,18	0,04	0,03	0,04	0,11	0,30	0,35	0,54
07-Colcas	0,68	1,02	1,03	0,63	0,59	0,39	0,38	0,40	0,45	0,67	0,82	0,90
08-Los Cedros	0,38	0,44	0,44	0,28	0,24	0,16	0,14	0,14	0,22	0,35	0,38	0,51
09-Santa	13,45	18,80	19,21	10,92	4,95	2,47	2,10	2,30	3,59	7,18	8,37	11,42
10-Quitaracsa	1,41	1,76	1,92	1,26	0,94	0,63	0,55	0,55	0,82	1,41	1,46	1,97
11-Tablachaca	4,19	7,24	8,87	5,49	3,04	1,90	1,38	1,22	1,52	2,67	3,13	3,84
12-Santa	21,32	32,00	34,79	20,31	9,19	5,18	4,19	4,22	6,27	11,83	13,51	17,77
13-Santa	21,69	32,62	35,56	20,62	9,26	5,21	4,22	4,25	6,31	11,99	13,66	18,05
14-Aguascocha	0,14	0,19	0,17	0,10	0,07	0,04	0,03	0,04	0,05	0,12	0,14	0,18
15-Parón	0,17	0,19	0,18	0,14	0,18	0,13	0,13	0,14	0,18	0,19	0,21	0,23
16-Cullicocha	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04

Tabla 5. 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 Pffastetter 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
Agrícola	2 a 4
Industrial	3
Minero	3

Tabla 6. 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 2 y 4. Si se asignase un número de prioridad 2 a todos los regantes por igual, los regantes en las partes altas de las cuencas recibirían menos recursos pues el modelo dejaría pasar el caudal para repartirlo equitativamente entre todas las demandas del sistema, lo que no ocurre en la realidad.

El montaje del modelo se realizó partiendo del esquema desarrollado en la fase de recopilación de datos y posteriormente aceptado por la ALA, complementado con la información procedente del inventario de demandas, canales, bocatomas, presas y otras representadas en un SIG. Esta información se sintetiza en los datos requeridos por un modelo de gestión que no es un SIG sino una herramienta para el cálculo de balances y análisis de la gestión del sistema.

Como resultado, el modelo permite calcular el balance hídrico en los escenarios planteados (situación actual – con las demandas actuales y la oferta de la serie histórica en régimen natural – y situación futura – en la hipótesis de máximo desarrollo previsible deducido de los planes regionales de desarrollo – con hipótesis de Cambio Climático) de acuerdo a los criterios establecidos de prioridad de usos. Se ha planteado también el escenario futuro sin hipótesis de Cambio Climático para poder evaluar la influencia de éste en la satisfacción de las demandas futuras.

La Figura 10 muestra el esquema adoptado para el modelo.

Cada subcuenca en la que se calculó la oferta mensualizada en el modelo hidrológico se representa mediante un tramo de río al que entra dicha oferta. Las demandas de la cuenca se aplican en los nudos de demanda del modelo, con cierto grado de agregación para representar correctamente las que tienen acceso a la oferta de cada subcuenca y se les asigna una prioridad, máxima en las poblacionales, para simular el régimen de explotación de la cuenca. Cada nudo de demanda capta el agua del tramo de río correspondiente y retorna el caudal no consumido en los puntos donde se considera que se pueden reutilizar.

Aunque no consta que en la actualidad haya ninguna infraestructura en la que se exija respetar un caudal ecológico, el modelo los considera en una serie de puntos por exigencia del usuario, lo que da lugar a un balance de la situación actual más pesimista que el real.

La principal fuente de agua de la cuenca del Santa, son la lluvia y los glaciares los que son colectados por la red de ríos. El río Santa se origina en la Laguna Aguascocha, ubicado en el extremo suroeste de la cuenca y recorre en forma longitudinal hacia el noroeste flanqueado por las cordilleras blanca y negra, a la altura del Cañon del Pato gira hacia la izquierda y desemboca en el mar. Las subcuencas de la cordillera Blanca son sus principales afluentes (14 afluentes), se suman a ella 4 afluentes de la cordillera negra.

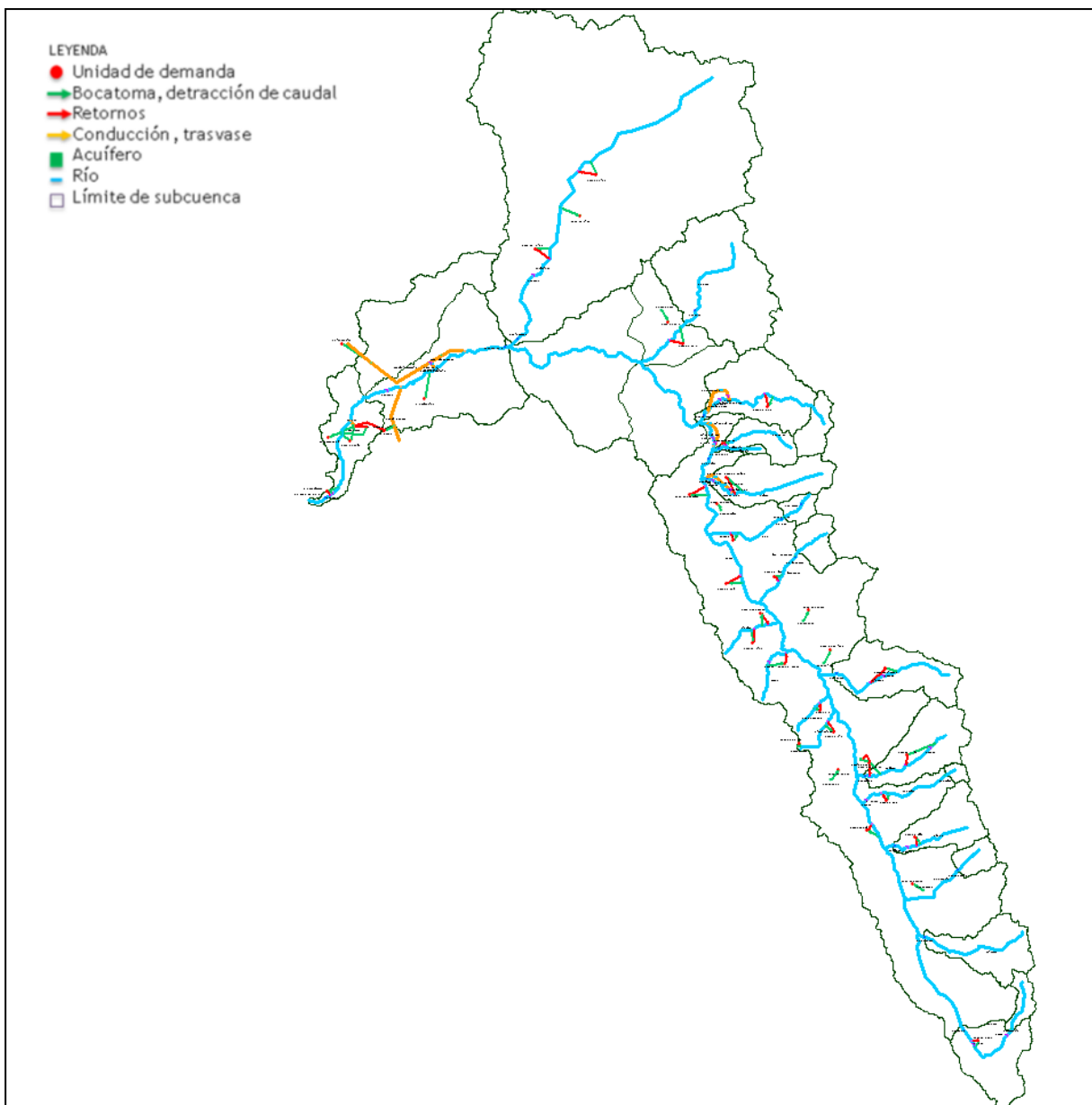


Figura 10. Esquema del modelo de gestión de la cuenca: vista general

Se cuenta con 5 lagunas embalsadas, las que fueron construidas para controlar los eventuales desprendimiento de los bloque de hielo que pueden originar avalanchas que afectarían grandemente las ciudades, pero al mismo tiempo permiten regular las aguas para ser aprovechados principalmente en la agricultura. Entre las importantes e incluidas en el modelo son: Aguascocha, Rajucolta, Parón, Llanganuco y Cullicocha.

Los glaciares de la Cordillera Blanca cubren un área de 724 km² de los cuales 510 km² están ubicados dentro del ámbito de la cuenca del río Santa, estos glaciares así como las 180 lagunas que existen en el ámbito el parque, tienen un efecto regulador de las descargas del río Santa en el período de estiaje.

En Perú en los últimos 30 años, se ha observado un proceso de retroceso de los glaciares como resultado de incremento de la temperatura y / o la disminución de la precipitación. Este proceso está contribuyendo a la desaparición parcial o total de algunos glaciares. A través del modelo de hidrología se ha estimado la magnitud del retroceso de los glaciares. El retroceso glaciar ha sido de 22% reduciéndose de 510 km² en el año de 1965 hasta 396 km² en el año 2013.

Estudios hidrológicos de la cuenca del Río Santa revelan la importancia de deshielo de los glaciares de agua para el suministro total de agua en la cuenca, y proponer estrategias para la gestión futura de estos suministros. Sin embargo, los estudios existentes se concentran en la parte alta de la cuenca a la estación de aforo "La Balsa", el principal punto de captación para el proyecto de energía hidroeléctrica del Cañón del Pato.

Las áreas agrícolas están distribuidos a lo largo del rio Santa, siendo la zona mas explotada la correspondiente al valle costero donde se tiene 102 803.3 ha irrigadas; la parte media y alta cuenta con un área de riego de 51 178.2 ha,, regados principalmente con el agua proveniente de los afluentes. Las áreas de riego, que son menores a las áreas agrícolas de la cuenca, fueron agrupadas en 21 grupos, en función de la fuente de agua y su aprovechamiento según el servicio de la red canales.

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:

Ítem	Subsistema	Subcuenas integrantes
1	Recreta	Recreta, Aguascocha
2	Olleros	Olleros
3	Rajucolta	Rajucolta, Laguna Rajucolta
4	Quillcay	Quillcay
5	Chancos	Chancos
6	Chinchayhuasi	Chinchayhuasi
7	San Luis – Yungar	San Luis – Yungar
8	Ampu	Ampu
9	Shupluy	Shupluy
10	Llanganuco	Llanganuco
11	Parón	Parón
12	Colcas	Colcas
13	Los Cedros	Los Cedros
14	Collota - Quitaracsa	Collota - Quitaracsa
15	Corongo	Alto Manta, Bajo Manta
16	Chuquicara	Chuquicara

Ítem	Subsistema	Subcuencas integrantes
17	La Balsa	Pachacoto, Querococha, Cullicocha, La Balsa
18	Medio Bajo Santa	Medio Alto Santa, Condorcerro, Medio Bajo Santa, Palo Redondo
19	Bajo Santa (Valle)	Bajo Santa (Valle)

Tabla 7. Subsistemas definidos para análisis de balance y subcuencas incluidas en cada uno

9.2. 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 Santa considerada en el modelo se representan en las 2 figuras siguientes:

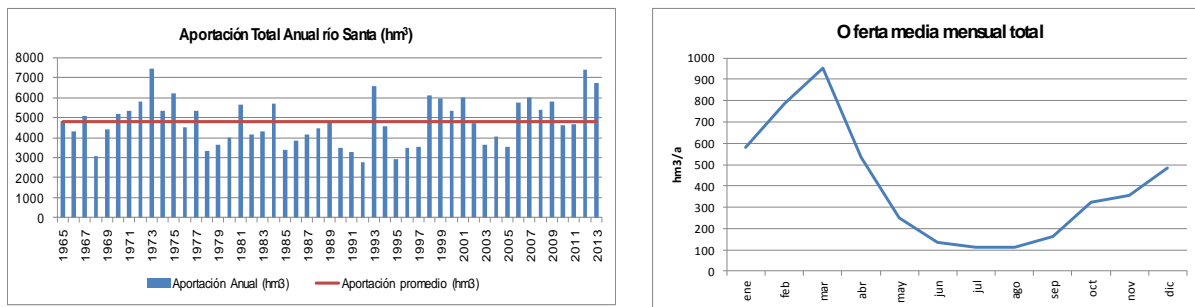


Figura 11. Oferta natural anual y media mensual de la cuenca. Periodo 1965-2013.

Además de la oferta natural existen manantiales dentro de su ámbito, los cuales aportan un flujo pequeño aprovechado en algunos casos para uso doméstico y riego de pequeñas parcelas.

Por otra parte, el modelo de gestión incluye todas las **demandas** localizadas en las subcuencas modeladas agrupadas en nudos de forma que se simule correctamente la disponibilidad de agua en ese punto. La agrupación de demandas (del mismo tipo para asignar a cada uso su prioridad correspondiente) se realiza de forma que se garantice la correcta simulación del sistema real.

La mayor parte de la demanda en la cuenca se debe al **uso agrícola** representando el **98%** de la demanda. El 2% restante se reparte entre industrial-minero y poblacional.

Demanda de agua	Volumen Anual (MMC)	Porcentaje
Poblacional	23,96	1,6%
Industrial&Minero	5,39	0,4%
Agrícola	1 489,76	98%
Total	1 519,11	100%

Tabla 8. Resumen de las demandas aplicadas al modelo

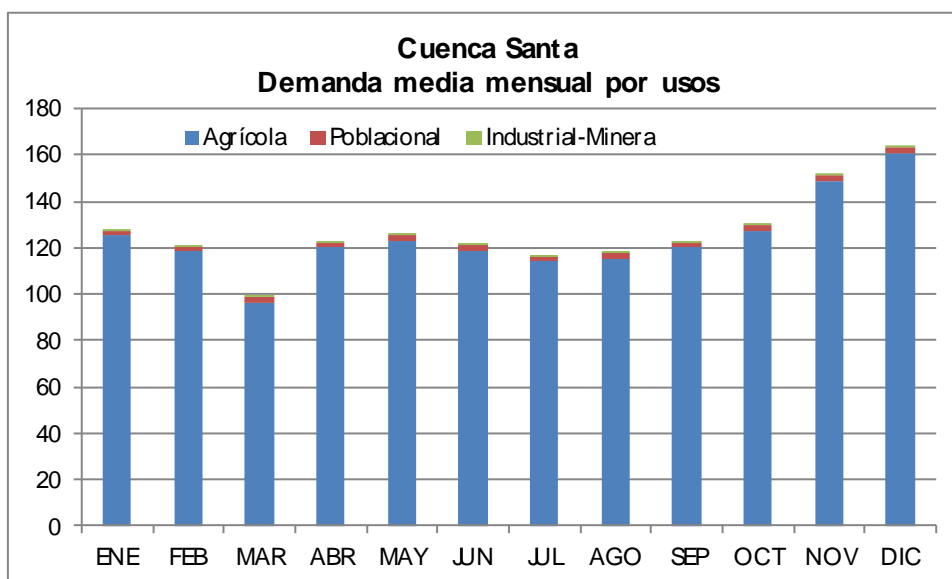


Figura 12. Usos actuales del agua supuestos en el modelo

Además se tienen en cuenta los **retornos** de las demandas. Para demandas poblacionales, industriales y mineras un valor razonable de retornos del 70%, asumiendo un 20% de consumo y un 10% de pérdidas totales no aprovechables. En cuanto al retorno generado por las demandas agrícolas, estas han sido estimadas en un 40%, y el consumo en un 60%.

Se simulan también las 5 **centrales hidroeléctricas** que operan actualmente en la cuenca.

Además del uso no consuntivo que suponen las centrales hidroeléctricas en el modelo de gestión en situación actual se han considerado siete **tramos con caudal ecológico**, también de uso no consuntivo, situados aguas abajo de infraestructuras existentes en la actualidad.

La demanda mensual deseada en cada nudo se supone constante a lo largo de los 49 años simulados

Se tiene en cuenta, asimismo, la **infraestructura de almacenamiento**, que permite guardar el agua de los meses o años húmedos para usarla en los secos, caracterizada por su capacidad máxima y embalse muerto. La cuenca del Santa cuenta con una regulación mínima, en las lagunas de la parte alta de la cuenca: Aguascocha, Cullicocha, Rajucolta, Paron y Llanganuco

Laguna/Represa	Volumen útil (hm³)
Aguascocha	8
Rajucolta	11
Parón *	42-28
Llanganuco	1
Cullicocha	11

*Disminuye por conflictos de uso, con los agricultores.

Tabla 9. Volumen útil de las represas y lagunas del modelo de gestión de la cuenca

También se cuenta con el almacenamiento del acuífero de Santa, localizado en la parte baja de la cuenca. Aunque los acuíferos no son infraestructura en sentido estricto, a efectos del modelo de

gestión funcionan como reservorios con capacidad de almacenar agua en los periodos húmedos para utilizarla en los secos.

No obstante, en el caso de la cuenca Santa la regulación en las lagunas naturales y el acuífero es escasa, siendo interesante desde este punto de vista la participación de los glaciares.

La **infraestructura de transporte** – que lleva el agua desde donde existe la oferta hasta donde se necesita, caracterizada por su capacidad máxima – está constituida por los ríos de la red de drenaje y los canales y conducciones de trasvase o captación:

CANALES	Elemento WEAP	CAPACIDAD (m ³ /s)
CHAVIMOCHIC	Canal Chavimochic	85,00
IRCHIM	Canal La Huaca	32,00
CASCAJAL NEPEÑA CASMA SECHÍN	Canal La Huaca	20,00
CARLOS LEIGHT	Canal La Huaca	7,00
CHIMBOTE	Canal La Víbora	12,00
SANTA	Canal La Víbora	3,00
INTEGRADOR SANTA SAN BARTOLO	Canal La Víbora	3,50
SAN BARTOLO	Canal La Víbora	1,00
GUADALUPITO	Canal Guadalupito	2,00

Tabla 10. Características de los canales incluidos en el modelo de gestión de la cuenca

El régimen de explotación del sistema especifica las prioridades entre demandas, las prioridades entre reservorios —para definir, por ejemplo, qué lagunas se llenan o vacían antes en un grupo de ellas— y, finalmente, las prioridades conjuntas entre reservorios y demandas.

Así, el régimen de explotación de la cuenca es por el momento sencillo en la parte media alta, puesto que los reservorios no regulan volúmenes importantes, los usuarios extraen agua de las fuentes cuando lo necesitan, considerando únicamente las prioridades entre las demandas, decrecientes hacia aguas abajo, pero con prioridad máxima para las poblacionales, de acuerdo con la Ley de Recursos Hídricos del Perú, de 2009.

En el caso de las demandas agrícolas, las áreas agrícola regadas por la toma Tablones-Suches-47 tiene mayor prioridad, ya que esta abastece de agua a los campos de cultivo de la parte alta del valle, la demanda de las tomas Chavimochic y La Huaca (Chinecas), tiene prioridad inferior ya que estas demandan grandes cantidades de agua que podrían desabastecer del suministro al resto de demandas ubicadas aguas abajo y por ultimo se ha dado la menor prioridad a las demandas de las tomas Guadalupito y La Víbora (Chinecas) para que no desabastezcan de la misma forma a las demandas ubicadas en la parte alta.

El acuífero es gestionado por usuarios poblacionales, que extraerán agua cuando la necesiten.

En la cuenca baja, además de las prioridades de uso, se tiene reglas de distribución de las tomas de las irrigaciones.

La regla general de gestión de embalses es almacenar la mayor cantidad de agua posible en el embalse durante el periodo de lluvia y luego usarlo durante el periodo de estiaje.

En el caso del embalse Parón el almacenamiento ha sido variable por conflictos con los usuarios agrícolas, haciéndose cada vez pequeño. Por ello se encuentra clasificada como No Regulable.

Para el caso de la Laguna de Aguascocha, por ser una laguna alejada a la CH Cañón del Pato, y para tratar de mejorar la eficiencia de conducción, es descargada en forma continua durante el mes de inicio del estiaje, o en el mes de Julio, con un caudal medio de 2.0 m³/s.

Para el caso de la Laguna Llanganuco, este sirve exclusivamente a las demandas agrícolas de los valles de Yungay y Toma para riego complementario.

El modelo asume el hecho de que la Ley de Recursos Hídricos exige prioridad para las demandas poblacionales, y, a conciencia de que en la realidad nadie impedirá a los agricultores captar el agua que necesiten sin respetar la prioridad de las demandas de aguas abajo, asigna prioridad mayor a las demandas poblacionales. Dado el gran volumen relativo de las demandas agrícolas frente a las poblacionales en la cuenca, el error inducido por esta hipótesis—legal pero no realista— no tiene ninguna influencia sobre los resultados del modelo.

Como **resultados de la situación actual** se obtiene:

- Las demandas poblacionales se sirven al 100% con excepción de un pequeño déficit que aparece en la zona de Andagua que no impide cumplir garantías.
- Las demandas industriales y mineras se sirven al 100% excepto en las zonas de excepto en la zona de La Balsa. El sistema de prioridades establecido por la Ley de Recursos Hídricos del Perú, es muy estricto con este tipo de demandas.
- Las demandas agrícolas ofrecen una confiabilidad aceptable (anual, mensuales y volumétrica mayores del 75, 90 y 95% respectivamente) en las zonas de Olleros, Rajucolta, Quilcay, Llanganuco, Colcas, Los Cedros, Collota-Quitaracsca, Corongo, Chuquicara, Medio Bajo Santa y Bajo Santa-Valle, cuyas demandas se sirven prácticamente al 100% por la contribución de las reservas en época de estiaje. El resto de las zonas presentan niveles altos de déficit. Los subsistemas que no cumplen los criterios exigidos de confiabilidad son Recreta, Chinchayhuasi, San Luis, Ampu, Shupuy, Parón y La Balsa.

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	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volum.
Recreta	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	35.02	24.28	10.74	12.2%	63.1%	69.3%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Olleros	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	3.45	3.45	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Rajucolta	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	6.47	6.46	0.01	100%	99.8%	99.9%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Quilcay	7.28	7.28	0.00	100%	100%	100%	32.13	32.13	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Chancos	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	0.02	0.02	0.00	100%	100%	100%
Chinchayhuasi	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	13.84	7.35	6.48	2.0%	53.4%	53.1%	0.09	0.09	0.00	100%	100%	99.7%
San Luis - Yungar	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	43.16	15.68	27.48	0.0%	38.8%	36.3%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Ampu	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	39.08	21.04	18.04	0.0%	55.4%	53.8%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Shupluy	0.60	0.60	0.00	100%	100%	100%	20.42	12.24	8.18	12.2%	50.3%	59.9%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Llanganuco	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	0.94	0.94	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Parón	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	47.31	40.47	6.84	63.3%	73.5%	85.5%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Colcas	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	62.10	61.17	0.93	100%	97.6%	98.5%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Los Cedros	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	5.94	5.94	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Collota - Quitarcasa	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	3.59	3.59	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Corongo	0.14	0.14	0.00	100%	100%	100%	24.07	24.07	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Chuquicara	1.46	1.46	0.00	100%	100%	100%	82.70	82.63	0.07	100%	99.8%	99.9%	2.28	2.27	0.01	100%	99.5%	99.5%
La Balsa	4.63	4.62	0.00	100%	100%	99.9%	166.60	129.14	37.47	36.7%	61.1%	77.5%	1.13	0.91	0.22	63.3%	65.0%	80.9%
Medio Bajo Santa	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	752.55	752.23	0.33	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Bajo Santa (Valle)	9.85	9.85	0.00	100%	100%	100%	150.40	149.12	1.28	100%	98.1%	99.1%	1.87	1.87	0.00	100%	100%	100%
CUENCA TOTAL	23.96	23.96	0.00	100%	100%	100%	1489.76	1371.92	117.85	100%	95.7%	92.1%	5.40	5.17	0.23	100%	99.5%	95.8%

Tabla 11. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos. Modelo de gestión Santa. Situación actual.

Subsistema	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Other Supply	Suministro desde acuífero	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Ind&Minera		Retornos	Variación de reservas	Salida a aguas abajo	Salida acuífero
					Servida	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit				
Recreta	93.96				0.00	0.00	24.28	10.74	0.00	0.00	9.71	0.16	79.23	
Olleros	149.27				0.00	0.00	3.45	0.00	0.00	0.00	1.38		147.20	
Rajucolta	59.27				0.00	0.00	6.46	0.01	0.00	0.00	2.59	0.13	55.27	
Quilcay	235.70			0.25	7.28	0.00	32.13	0.00	0.00	0.00	17.69		214.02	0.22
Chancos	248.09				0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01		248.09	
Chinchayhuasi	34.33		0.09		0.00	0.00	7.35	6.48	0.09	0.00	2.94		29.92	
San Luis - Yungar	35.39				0.00	0.00	15.68	27.48	0.00	0.00	6.27		25.98	
Ampu	83.09				0.00	0.00	21.04	18.04	0.00	0.00	8.42		70.46	
Shupluy	36.87				0.60	0.00	12.24	8.18	0.00	0.00	5.32		29.34	
Llanganuco	79.32				0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.37	0.96	77.80	
Parón	42.34	5.32			0.00	0.00	40.47	6.84	0.00	0.00	16.19		23.38	
Colcas	168.07				0.00	0.00	61.17	0.93	0.00	0.00	24.47		131.37	
Los Cedros	71.33				0.00	0.00	5.94	0.00	0.00	0.00	2.37		67.77	
Collota - Quitaracsa	311.19				0.00	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	1.44		309.04	
Corongo	287.66		0.14		0.14	0.00	24.07	0.00	0.00	0.00	9.63		273.22	
Chuquicara	1080.19				1.46	0.00	82.63	0.07	2.27	0.01	35.66		1029.49	
La Balsa	1398.19	1194.51	4.00		4.62	0.00	129.14	37.47	0.91	0.22	52.75	0.04	2514.70	
Medio Bajo Santa	367.97	4126.46			0.00	0.00	752.23	0.33	0.00	0.00			3742.21	
Bajo Santa (Valle)	6.20	3742.21		1.87	9.85	0.00	149.12	1.28	1.87	0.00	55.21		3640.95	3.69
CUENCA TOTAL	4788.45	9068.50	4.23	2.13	23.96	0.00	1371.92	117.85	5.17	0.23	252.42	1.29	12709.45	3.91

Tabla 12. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes. Modelo de gestión Santa. Situación Actual.

De acuerdo a la comparación entre la oferta y la demanda medias mensuales en la cuenca se observa que la oferta no logra ser superada por la demanda en los periodos de mayor estiaje, sin embargo si hay déficits de servicio en ese periodo, especialmente en aquellos lugares que no tienen glaciares o regulación de lagunas. Además, incluso en el periodo húmedo de enero a marzo se registran algunos déficits, debido a que en algunos años secos el caudal puede ser muy bajo, dada la gran irregularidad del régimen hidrológico de Santa

En cuanto a la **variación de almacenamiento en las lagunas** la regulación del recurso hídrico es mínima debido a la escasa magnitud del volumen útil.

En el **almacenamiento en el acuífero** no se aprecian variaciones de volumen, puesto que no existen variaciones grandes de demandas durante los meses secos, sino la demanda es constante durante todo el año.

Respecto de los **tramos de caudal ecológico impuesto**, únicamente no se consigue mantener el caudal ecológico en el tramo del río Colcas

Tramo de caudal ecológico	Volumen (MMC/año)		
	Total	Servida	Déficit
Río Colcas	20,86	20,76	0,096
Río Santa	273,53	273,53	0
Aguascocha	3,32	3,32	0
Parón	5,44	5,44	0
Cullicocha	0,79	0,79	0

Tabla 13. Cumplimiento de los caudales ecológicos. Modelo de gestión. Situación actual.

9.3. 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 regadío 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 (MMC)	Variación con situación actual (MMC)
Poblacional	32,81	+8,85
Industrial & Minero	11,61	+6,21
Agrícola	2 919,41	+1 429,65
Total	2 963,83	+1 444,71

Tabla 14. Variación de las demandas en situación futura

Se incluyen las nuevas infraestructuras proyectadas como el embalse de Palo Redondo, propuesto en la III Etapa del P.E. Chavimochic. El embalse tiene una capacidad de diseño original de 360 hm³, con un volumen muerto de 10 hm³, y regulará las aguas de trasvase para ser usadas en los meses de estiaje.

Se tiene en cuenta la influencia del cambio climático en la oferta obteniéndose así dos balances hídricos integrados en situación futura, sin y con influencia del cambio climático. En el escenario de máxima afección (escenario 8.5) los caudales medios son muy parecidos, e incluso algo mayores que los históricos, debido a que el aumento de la precipitación compensa en incremento de temperatura, aunque los caudales de los meses secos son ligeramente más bajos. En la tabla siguiente se puede observar que la oferta disminuye ligeramente, aunque es superior en los meses húmedos como diciembre, enero y marzo.

Mes	Volumen actual (hm ³)	Volumen con CC (hm ³)	Diferencia CC-Actual (hm ³)
Enero	580,90	594,16	13,26
Febrero	789,12	803,55	14,43
Marzo	952,35	969,33	16,99
Abril	534,39	543,46	9,07
Mayo	247,99	252,60	4,61
Junio	135,02	138,49	3,47
Julio	112,95	116,56	3,61
Agosto	113,70	116,71	3,01
Septiembre	163,49	168,33	4,84
Octubre	321,05	327,70	6,65
Noviembre	354,02	360,29	6,28
Diciembre	483,49	492,49	9,00
TOTAL	4 788,45	4 883,67	95,22

Tabla 15. Volumen medio mensual de la oferta de la serie histórica y la afectada por el cambio climático

Además de los puntos con caudal ecológico incluidos en el modelo de gestión en situación actual, situados aguas abajo de infraestructuras existentes en la actualidad se han incluido una serie de puntos de caudal ecológico en las nuevas infraestructuras proyectadas.

NODO WEAP	Nombre WEAP	Ubicación	Caudal medio (m ³ /s)
Qeco 7	Río Colca	aguas abajo de las Centrales Hidroeléctricas Santa Cruz 1 y Santa Cruz 2	0,66
Qeco 9	Río Santa	aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato	8,73
Qeco 14	Aguascocha	aguas abajo de la laguna represada Aguascocha	0,11
Qeco 15	Parón	aguas abajo de la represa Parón	0,17
Qeco 16	Cullicocha	aguas abajo de la represa de Cullicocha	0,03
Qeco1	Río Santa	Aguas abajo de la Bocatoma San Ildefonso.	0,35
Qeco2	Río Olleros	Aguas abajo de la Bocatoma Jauna Olleros.	0,59
Qeco3	Río Rajucolta	Aguas abajo de la CH Pariac y Bocatoma Rajucolta.	0,23

NODO WEAP	Nombre WEAP	Ubicación	Caudal medio (m ³ /s)
Qeco4	Río Quillcay	Aguas abajo de la Bocatoma Quillcay - Independencia.	0,94
Qeco5	Río Chancos	Aguas abajo de la Minera Caudalosa.	0,99
Qeco6	Río Ampu	Aguas abajo de la Bocatoma Ampu.	0,31
Qeco8	Río Los Cedros	Aguas abajo de la Bocatoma Santa Cruz - Hualcayán.	0,31
Qeco10	Río Quitarcasa	Aguas abajo de la CH Quitarcasa (En construcción)	1,22
Qeco11	Río Tablachaca	Aguas abajo de la Bocatomas Junta de Usuarios Santiago de Chuco y de la provincia de Pallasca.	3,71
Qeco12	Río Santa	Aguas abajo de la Bocatoma CHAVIMOCHIC y La Huaca.	15,05
Qeco13	Río Santa	Aguas abajo de las Bocatomas La Vibora y Guadalupe	15,28

Tabla 16. Caudales ecológicos incluidos en el modelo futuro

Los resultados obtenidos para la situación futura son:

- La cuenca que cumple globalmente las confiabilidades exigidas pero con niveles de confiabilidad baja en ciertos subsistemas, especialmente en las subcuencas sin aporte glaciar. Las subcuencas con buena confiabilidad son Olleros, Rajucolta, Quillcay, Langanuco, Colcas, Los Cedros, Collota-quitarcasa, Corongo, Chuquicara, Medio Bajo Santa y Bajo Santa (Valle). Adicionalmente las irrigaciones (Chavimochic y Chincas) tienen disponibilidades suficientes en el río Santa que pueden atender su crecimiento sin problema
- En general todas las demandas poblacionales, industriales y/o mineras en los escenarios futuros tienen confiabilidad anual, mensual y volumétrica cercana al 100% al igual que en situación actual, debido a los mismos motivos, una prioridad mayor en el caso de las poblacionales o a la toma ilimitada de suministro subterráneo en el resto de usos. El único subsistema que incumple confiabilidades para el uso Industrial y minero es La Balsa.

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	Anual	Mensual	Volu métrica	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volu métrica	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volu métrica
Recreta	0.00	0.00	0.00	-	-	-	35.02	22.83	12.19	2.0%	57.7%	65.2%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Olleros	0.00	0.00	0.00	-	-	-	3.45	3.45	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Rajucolta	0.00	0.00	0.00	-	-	-	6.47	6.46	0.01	100%	99.8%	99.9%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Quilcay	0.80	0.80	0.00	100%	100%	100%	32.13	32.12	0.01	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Chancos	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.03	0.03	0.00	100%	100%	100%
Chinchayhuasi	0.00	0.00	0.00	-	-	-	13.84	7.35	6.48	2.0%	53.4%	53.1%	2.10	2.10	0.00	100%	100%	100%
San Luis Yungar	0.00	0.00	0.00	-	-	-	43.16	15.68	27.48	0.0%	38.8%	36.3%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Ampu	0.00	0.00	0.00	-	-	-	39.08	20.04	19.04	0.0%	50.7%	51.3%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Shupluy	0.41	0.41	0.00	100%	100%	100%	20.42	12.24	8.18	12.2%	50.3%	59.9%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Llanganuco	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.94	0.94	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Parón	0.00	0.00	0.00	-	-	-	47.31	40.46	6.85	63.3%	73.5%	85.5%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Colcas	0.00	0.00	0.00	-	-	-	62.10	61.17	0.93	100%	97.6%	98.5%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Los Cedros	0.00	0.00	0.00	-	-	-	5.94	5.94	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Collota Quitaracsca	0.00	0.00	0.00	-	-	-	3.59	3.59	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Corongo	0.16	0.16	0.00	100%	100%	100%	24.07	24.07	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Chuquicara	1.41	1.41	0.00	100%	99.8%	100%	82.70	81.20	1.51	95.9%	98.1%	98.2%	2.65	2.58	0.07	95.9%	97.4%	97.5%
La Balsa	17.82	17.82	0.00	100%	100%	100%	166.60	129.10	37.50	34.7%	61.2%	77.5%	2.35	1.88	0.47	53.1%	63.4%	80.0%
Medio Bajo Santa	0.00	0.00	0.00	-	-	-	2126.29	2049.12	77.17	95.9%	93.4%	96.4%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
Bajo Santa (Valle)	12.21	12.21	0.00	100%	100%	100%	206.31	184.70	21.61	75.5%	90.0%	89.5%	4.49	4.49	0.00	100%	100%	100%
CUENCA TOTAL	32.81	32.81	0.00	100%	100%	100%	2919.41	2700.45	218.96	89.8%	92.7%	92.5%	11.61	11.07	0.54	100%	97.4%	95.4%

Nota: en rojo se han marcado los subsistemas que no cumplen los criterios de confiabilidad en alguno de sus usos.

Tabla 17. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos. Modelo de gestión. Situación futura

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	Anual	Mensual	Volu métrica	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volu métrica	Total	Servida	Déficit	Anual	Mensual	Volu métrica
Recreta	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	35.02	22.89	12.13	2.0%	57.7%	65.4%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Olleros	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	3.45	3.45	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Rajucolta	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	6.47	6.41	0.06	100%	98.0%	99.1%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Quilcay	0.80	0.80	0.00	100%	100%	100%	32.13	32.12	0.01	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Chancos	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	0.03	0.03	0.00	100%	100%	100%
Chinchayhuasi	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	13.84	7.37	6.47	4.1%	53.4%	53.2%	2.10	2.10	0.00	100%	100%	100%
San Luis Yungar	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	43.16	15.77	27.39	0.0%	39.1%	36.5%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Ampu	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	39.08	20.09	19.00	0.0%	50.9%	51.4%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Shupluy	0.41	0.41	0.00	100%	100%	100%	20.42	12.26	8.16	12.2%	50.3%	60.0%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Llanganuco	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	0.94	0.94	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Parón	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	47.31	37.64	9.67	42.9%	63.1%	79.6%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Colcas	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	62.10	61.09	1.01	100%	97.3%	98.4%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Los Cedros	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	5.94	5.94	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Collota Quitarasca	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	3.59	3.59	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Corongo	0.16	0.16	0.00	100%	100%	100%	24.07	24.07	0.00	100%	100%	100%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Chuquicara	1.41	1.41	0.00	100%	99.8%	100%	82.70	81.19	1.51	95.9%	98.3%	98.2%	2.65	2.58	0.07	95.9%	97.4%	97.5%
La Balsa	17.82	17.82	0.00	100%	100%	100%	166.60	129.61	37.00	36.7%	61.2%	77.8%	2.35	1.89	0.46	59.2%	63.1%	80.4%
Medio Bajo Santa	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-	2126.29	2050.35	75.94	95.9%	93.2%	96.4%	0.00	0.00	0.00	100%	100%	-
Bajo Santa (Valle)	12.21	12.21	0.00	100%	100%	100%	206.31	185.58	20.73	75.5%	90.5%	90.0%	4.49	4.49	0.00	100%	100%	100%
CUENCA TOTAL	32.81	32.81	0.00	100%	100%	100%	2919.41	2700.34	219.07	91.8%	92.5%	92.5%	11.61	11.08	0.53	100%	97.4%	95.4%

Nota: en rojo se han marcado los subsistemas que no cumplen los criterios de confiabilidad en alguno de sus usos.

Tabla 18. Confiabilidad de servicio de las demandas por zonas y usos. Modelo de gestión. Situación futura con cambio climático

Subsistema	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Other supply	Suministro desde acuífero	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Ind&Minera		Retornos	Variación de reservas	Salida a aguas abajo	Salida acuífero
					Servi	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit				
Recreta	93.96				0.00	0.00	22.83	12.19	0.00	0.00	9.13	0.16	80.10	
Olleros	149.27				0.00	0.00	3.45	0.00	0.00	0.00	1.38		147.20	
Rajucolta	59.27				0.00	0.00	6.46	0.01	0.00	0.00	2.59	0.13	55.27	
Quilcay	235.70			0.03	0.80	0.00	32.12	0.01	0.00	0.00	13.38		216.19	
Chancos	248.09				0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02		248.08	
Chinchayhuasi	34.33		2.10		0.00	0.00	7.35	6.48	2.10	0.00	2.94		29.92	
San Luis - Yungar	35.39				0.00	0.00	15.68	27.48	0.00	0.00	6.27		25.98	
Ampu	83.09				0.00	0.00	20.04	19.04	0.00	0.00	8.02		71.07	
Shupluy	36.87				0.41	0.00	12.24	8.18	0.00	0.00	5.18		29.40	
Llanganuco	79.32				0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.37	0.90	77.87	
Parón	42.34	5.25			0.00	0.00	40.46	6.85	0.00	0.00	16.18		23.32	
Colcas	168.07				0.00	0.00	61.17	0.93	0.00	0.00	24.47		131.37	
Los Cedros	71.33				0.00	0.00	5.94	0.00	0.00	0.00	2.37		67.77	
Collota - Quitaracsca	311.19				0.00	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	1.44		309.04	
Corongo	287.66		0.16		0.16	0.00	24.07	0.00	0.00	0.00	9.63		273.22	
Chuquicara	1080.19				1.41	0.00	81.20	1.51	2.58	0.07	35.27		1030.27	
La Balsa	1398.19	1198.28	17.88		17.82	0.00	129.10	37.50	1.88	0.47	53.00	0.04	2518.38	
Medio Bajo Santa	367.97	4130.92			0.00	0.00	2049.12	77.17	0.00	0.00	0.00	1.88	2447.89	
Bajo Santa (Valle)	6.20	2447.89		4.49	12.21	0.00	184.70	21.61	4.49	0.00	67.92		2323.04	2.07
CUENCA TOTAL	4788.45	7782.33	20.14	4.52	32.81	0.00	2700.45	218.96	11.07	0.54	259.56	3.11	10105.37	2.07

Tabla 19. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes. Modelo de gestión. Situación futura

Subsistema	Oferta natural	Entrada de aguas arriba	Other supply	Suministro desde acuífero	Demanda Poblacional		Demanda agrícola		Demanda Ind&Minera		Retornos	Variación de reservas	Salida aguas abajo	Salida acuífero
					Servi	Déficit	Servida	Déficit	Servida	Déficit				
Recreta	94.05				0.00	0.00	22.89	12.13	0.00	0.00	9.16	0.16	80.16	
Olleros	152.78				0.00	0.00	3.45	0.00	0.00	0.00	1.38		150.71	
Rajucolta	64.09				0.00	0.00	6.41	0.06	0.00	0.00	2.56	0.15	60.10	
Quilcay	244.33			0.03	0.80	0.00	32.12	0.01	0.00	0.00	13.38		224.82	
Chancos	261.43				0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02		261.43	
Chinchayhuasi	34.76		2.10		0.00	0.00	7.37	6.47	2.10	0.00	2.95		30.34	
San Luis - Yungar	35.84				0.00	0.00	15.77	27.39	0.00	0.00	6.31		26.38	
Ampu	84.16				0.00	0.00	20.09	19.00	0.00	0.00	8.03		72.11	
Shupluy	37.29				0.41	0.00	12.26	8.16	0.00	0.00	5.19		29.81	
Llanganuco	89.88				0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.37	0.91	88.41	
Parón	44.93	5.84			0.00	0.00	37.64	9.67	0.00	0.00	15.06		28.20	
Colcas	173.81				0.00	0.00	61.09	1.01	0.00	0.00	24.44		137.15	
Los Cedros	72.99				0.00	0.00	5.94	0.00	0.00	0.00	2.37		69.43	
Collota - Quitaracsa	316.75				0.00	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	1.44		314.60	
Corongo	289.92		0.16		0.16	0.00	24.07	0.00	0.00	0.00	9.63		275.48	
Chuquicara	1089.50				1.41	0.00	81.19	1.51	2.58	0.07	35.27		1039.59	
La Balsa	1417.93	1253.20	17.88		17.82	0.00	129.61	37.00	1.89	0.46	53.20	0.04	2592.74	
Medio Bajo Santa	372.88	4222.41			0.00	0.00	2050.35	75.94	0.00	0.00	0.00	1.96	2542.99	
Bajo Santa (Valle)	6.31	2542.99		4.49	12.21	0.00	185.58	20.73	4.49	0.00	68.21		2417.53	2.19
CUENCA TOTAL	4883.65	8024.45	20.14	4.52	32.81	0.00	2700.34	219.07	11.08	0.53	258.97	3.21	10441.98	2.19

Tabla 20. Balance medio anual de la cuenca completa y de los subsistemas importantes. Modelo de gestión. Situación futura con cambio climático

En cuanto a la **variación de almacenamiento en las lagunas** modeladas, se muestra una gran variación de volumen de almacenamiento, puesto que regulan caudal periódicamente. La mayor parte del tiempo las lagunas recuperan su nivel inicial en época húmeda.

El **embalse** de Palo Redondo que abastece de agua a las áreas ampliadas del proyecto Chavimochic, así como a la central hidroeléctrica Tanguche y Cola de Presa Palo Redondo también se llena en época húmeda vaciándose en estiaje, aunque estos vaciados son más regulares dependiendo de los caudales circulantes, dada la gran capacidad de almacenamiento del embalse.

El **acuífero** presenta cambios con respecto a la situación actual puesto que en la parte baja hay un incremento grande de demanda de agua por el proyecto Chavimochic. Este déficit de agua se ve compensado por el aporte del acuífero hacia el resto de demandas en esta zona.

Los resultados obtenidos en cuanto a evolución de almacenamiento en acuíferos y lagunas son muy similares en los escenarios futuros con y sin cambio climático.

Se observan que los tramos 1, 6, 7 y 11 de **caudal ecológico** (Recreta, Ampu, Colcas y Tablachaca) no completan el servicio al caudal ecológico en ambas situaciones, además el tramo 3 Rajucolta, tampoco lo hace en situación futura con cambio climático

En el modelo de gestión se ha introducido información de seis **centrales hidroeléctricas** las cuales son: Pariac, Santa Cruz I, Santa Cruz II, Quitaracsa, Tanguche y Cañón del Pato. La central hidroeléctrica Virú no ha sido introducida debido a que esta se ubica fuera del ámbito de la cuenca. De la simulación se observa que la central hidroeléctrica Cañón del Pato disminuirá la generación eléctrica en un 5% en el escenario futuro, y ante un cambio climático esta disminución será de 3%, estas disminuciones no son valores considerables para alertar sobre un déficit de energía en el futuro, sin embargo conocer esto sirve para tomar las precauciones respectivas y tomar las medidas de afianzamiento hídrico necesarias.

Las conclusiones del análisis de los balances hídricos realizados indican que la situación de la cuenca del Santa, tanto actual como futura, es deficitaria en determinadas subcuencas, con confiabilidades por debajo de los límites aceptables, aunque la oferta media de toda la cuenca es superior a la demanda media.

Por lo tanto, se recomienda el incremento de la regulación mediante reservorios y la reducción de la demanda a través de la modernización de las irrigaciones. Por otra parte, hay que recordar que el modelo puede y debe actualizarse y mejorarse a lo largo del tiempo para corregir los eventuales errores que se pudieran detectar y para añadir o mejorar componentes del modelo de los que se disponga de nueva información

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

Los procesos de contaminación en el río Santa se inician en la cuenca alta y media, donde se localizan actividades humanas intensas tanto urbanas como agrícola y mineras y que se prolongan hasta la cuenca baja. Sin olvidar, que algunos parámetros de calidad pueden verse afectados por las características litológicas del terreno.

En el inventario de fuentes de contaminación destacan, por una parte, los vertimientos poblacionales no tratados, ligados tanto a grandes ciudades como Caraz, Huaraz, Recuay, Yungay ó Carhuaz, como a un gran número de pequeños núcleos de comunidades.

Otro gran problema que se concentra en los principales centros poblados es la inadecuada disposición de los residuos sólidos. Gran parte de las municipalidades no cuentan con un manejo adecuado ni sistemas de disposición final por lo que un porcentaje alto de estos residuos acaban en los cauces de los ríos.

Por otra parte, hay que destacar los vertimientos mineros y pasivos ambientales procedentes de la pequeña y mediana minería (oro, cobre, plata, zinc y molibdeno). Entre las industrias mineras más importantes hay que resaltar: Barrick Misquichilca S.A. – U.E.A. Pierina que explota oro, y la Compañía Minera Antamina S.A. que explota Cobre, Zinc y Molibdeno. También existe la explotación y beneficio de carbón tipo antracita, y de Tungsteno (a pequeña escala).

Por último, la agricultura constituye la actividad más desarrollada en la cuenca. En la parte alta se práctica la agricultura en secano y en la parte baja de regadío. Se generan impactos por erosión de suelos (mal manejo del agua para riego) y contaminación por un uso inadecuado de agroquímicos. Aunque no se tiene información precisa de las cantidades o tipos de fertilizantes o pesticidas utilizados, se tiene conocimiento que son fertilizantes sintéticos nitrogenados y de origen biológico (ganado).

10.2. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS CUERPOS DE AGUA

De acuerdo con lo establecido en Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, los ríos Santa y Tablachaca se encuentran clasificados en la **categoría 1 "Poblacional y recreacional", sub categoría A2: "Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional"**. Mientras que las lagunas se engloban en la **categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático**.

En función de los Estándares de Calidad definidos para estas categorías, los resultados de los monitoreos realizados por diferentes organismos indican que, la mala calidad de los cauces está determinada fundamentalmente por las elevadas concentraciones de **metales y metaloides**, presentes tanto en las aguas como en los sedimentos:

- Aluminio y Arsénico: Aunque los niveles de ambos parámetros son elevados en toda la cuenca, tienen especial incidencia en la subcuenca de Tablachaca y en la cuenca media y baja del río Santa
- Hierro: Las concentraciones de hierro son elevadas y presentan una tendencia creciente a lo largo de la cuenca, sobre todo tras la incorporación del río Tablachaca.
- Manganeso: Los niveles de manganeso son elevados en los ríos Huandoval, Piscochaca, quebrada Sacalla, Auqui, Anco y Tablachaca.
- Boro: Únicamente se encuentra en concentraciones elevadas en la cuenca baja del río Tablachaca.

- Cadmio: Las concentraciones de cadmio sólo suponen limitaciones en el río Piscochaca y en la desembocadura del río Tablachaca
- Níquel: Los ríos Negro, quebrada Sacalla, Huandoval, Cabana y desembocadura del río Tablachaca presentan elevadas concentraciones de níquel.
- Plomo: Únicamente se encuentra en una concentración elevada de forma puntual en el río Piscochaca
- Zinc: Las concentraciones son elevadas en la subcuenca de Tablachaca

También es importante la **contaminación orgánica y microbiológica** relacionada con la existencia de vertimientos poblacionales y con el aprovechamiento del terreno para actividades agrícolas y ganaderas. Hay que resaltar los elevados valores de los parámetros que representan este tipo de contaminación registrados en el río Patarata, aunque los siguientes cuerpos de agua también presentan problemas: Lagunas de los Angeles, Chalhuacocha y Quepina, quebrada Honda y ríos Anco, Cabana, Conchucos, Huandoval, Paria, Piscochaca, Quilcay, Santa y Tablachaca.

En cuanto a **estacionalidad** en el comportamiento de los diferentes parámetros analizados, al disponer únicamente de resultados de dos campañas de monitoreo en el caso de la red de la ANA y de uno para el resto de redes, no se pueden extraer conclusiones relevantes:

- La contaminación de tipo orgánico y microbiológico, aunque en líneas generales suele ser mayor en época de estiaje, en esta cuenca parece ser mayor durante la época de avenidas – Quizás debido al lavado de los terrenos, arrastre de botaderos, etc.-.
- La contaminación por metales, en la parte baja de la cuenca el contenido en aluminio, hierro, manganeso y níquel también aumenta durante el monitoreo realizado en avenidas, mientras que en la parte alta y media de la cuenca, en general los resultados obtenidos en ambos monitoreos son similares, salvo en los siguiente casos:
 - El río Santa en la cuenca media, la quebrada Sacalla y el río Piscochaca en los que las concentraciones de aluminio y hierro en los tres puntos, y del plomo en el último, fueron superiores en la época de avenidas.
 - El río Huandoval ocurre lo contrario, las concentraciones de arsénico, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc fueron superiores durante la época de estiaje.

Respecto a las **limitaciones del uso del agua**, todos los ríos evaluados, a excepción de la Quebrada Llanganuco, muestran limitaciones para el uso establecido en su categoría actual.

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

La presencia de los metales en las aguas, aunque siempre es posible un cierto origen natural, en determinadas ocasiones parece estar relacionado con la intensa actividad minera desarrollada en la cuenca, fundamentalmente en la parte alta. A continuación se listan los casos en los que se ha encontrado afección a cauces:

- Pasivo ambiental de Pushaquilca en el río Pelagatos
- Compañía Minera Tungsteno Malaga (antes Dynacor) en el río Pampas
- Cía Minera Santa Rosa (COMARSA) en la quebrada Sacalla y el río Piscochaca
- Pasivos de Ticapampa, Shansha, Chiguiyapampa, Carmencita y Wanerury en el río Santa
- Minería informal en la cuenca alta de la quebrada honda

- Pasivos ambientales San Toribio al río Quilcay
- Cocabal en la cuenca del río Anco
- La Galgada en la parte media del río Tablacha.

Mientras que, en los siguientes casos, no se han localizado fuentes de contaminación por lo que el contenido en los metales que se indican parece tener un **origen natural**:

- Arsénico en las lagunas de Quepina, Challhuacocha, Llamacocha y Caonococha
- El zinc en la Laguna de los Angeles y el plomo en la de Toro. Ambas lagunas se sitúan en el ámbito de la unidad Minera "Las Lagunas Norte" por lo que sería necesario profundizar en el estudio del origen de estos metales.
- En los ríos Auqui y Chuc Chun, el contenido en arsénico y cadmio puede provenir de la desglaciación de los nevados, que contribuyen con el arrase de minerales y compuestos acidificantes.

En cuanto a contaminación **orgánica y microbiológica**, seguidamente se enumeran los cuerpos de agua afectadas por este tipo de contaminación en los que se han encontrado presiones que presumiblemente lo provocan:

- En las lagunas, el pastoreo realizado en las cuencas vertientes
- En el río Conchucos, las infiltraciones del botadero de residuos sólidos domésticos y de vertidos de aguas residuales sin tratar que recibe el cauce provenientes del distrito de Mollepata
- En el río Patarata, el vertimiento de aguas residuales domésticas del distrito de Santiago de Chuco.
- En el río Santa:
 - Las descargas de aguas residuales domésticas y pluviales provenientes del distrito Catac y del centro poblado de Calla, así como botadero de residuos sólidos los cuales se encuentran en la margen derecha del río.
 - Los vertimientos directos de aguas residuales domésticas procedentes de la ciudad de Huaraz y del hospital Víctor Ramos Guardia y del canal de Huaraz
 - Los vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de la zona de Vichay en el distrito de Independencia.
 - Diferentes vertimientos recogidos en el registro PAVER correspondientes a la municipalidad distrital de Yungar.
 - La intensa actividad agrícola en los alrededores de Caraz, así como los vertimientos de aguas residuales
 - En la cuenca baja, la actividad agrícola y los vertimientos de aguas residuales domésticas.

11. EVENTOS EXTREMOS Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA

11.1. INUNDACIONES

A partir de la información existente sobre inundaciones y desastres, se han identificado más de 50 eventos significativos que caracterizan 6 zonas con potencial riesgo de inundación, y se ha preparado

el mapa Riesgos Extremos: Inundaciones – Huaycos que recoge el inventario histórico de desastres ocurridos en la cuenca, tomando como base el Inventario Histórico de desastres del Perú (1970-2014).

Para los puntos de la cuenca donde se han detectado problemas importantes de inundación se han calculado los caudales de avenida para distintos períodos de retorno. En caso de disponer de datos diarios de caudales se ha realizado un ajuste estadístico para obtener el caudal máximo. El método empleado para el cálculo de los caudales de avenida ha sido el método de Creager habitualmente utilizado en el país, aplicando los coeficientes regionalizados en el país. El caudal máximo, para 100 años de periodo de retorno en el entorno de la desembocadura de Santa es igual a $1\,477\text{ m}^3/\text{s}$

Además se ha recogido la información incluida en el *Estudio de máximas avenidas en las cuencas de la vertiente del Pacífico - Cuencas de la costa norte*, elaborado por la ANA.

11.2. SEQUÍAS

En contraste con otras zonas de Perú, como el altiplano, donde los impactos del evento “El Niño” se manifiestan con grandes sequías, u otras zonas en las que la sequía se presenta como un problema importante que afecta la actividad agropecuaria, la cuenca del río Santa no se presenta muy vulnerable frente a la sequía, siendo los efectos de ésta de tipo moderado.

En 2009 el Ministerio de Medio Ambiente publicó el documento de ***Evaluación local integrada y estrategia de adaptación al cambio climático en el río Santa, donde se recoge que las sequías severas o extremas son muy poco frecuentes en la cuenca del río Santa.***

A partir de la información existente sobre desastres tan solo se han identificado 3 eventos de déficit de lluvia en el total de la cuenca.

Desde el punto de vista de la climatología, la cuenca del río Santa presenta un comportamiento diferenciado en el norte y en el sur. Las precipitaciones son mayores en el sur, superando los 800 mm anuales en promedio. En la zona norte la precipitación promedio es menor, disminuyendo progresivamente al aumentar la cercanía al Océano Pacífico. Análogamente, en la zona sur las temperaturas son menores, alcanzando en promedio los 4°C en Recuay. En la zona norte las temperaturas son mayores, alcanzando los 20°C de media en la desembocadura del Santa. Esto se refleja también en el análisis de sequías realizado a partir del estudio del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), según el cual los ciclos húmedos y secos se suceden con alternancia, pudiéndose constatar una cierta influencia de los eventos fuertes o extremos de los fenómenos El Niño en el déficit o aumento de las precipitaciones

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 21. 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 del 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.

En Santa, los índices que mejor correlacionan son el SOI, el PDO y el MEI, mientras que el AMO obtiene correlaciones muy bajas. Por otro lado, a la vista de los resultados obtenidos, los eventos cálidos (ENSO) estarían asociados a un aumento generalizado de las precipitaciones en la zona norte, mientras que los eventos fríos (LENZO) se pueden asociar a una disminución generalizada de las precipitaciones.

12. DINÁMICA FLUVIAL: EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

La descripción morfológica de la cuenca del río Santa se centra en la red principal compuesta por el río Santa y los principales afluentes por su margen derecha. Los ríos Quitaracsa y Manta se sitúan en el tramo medio, el río Tablachaca, que es el principal tributario del río Santa, en el inicio del tramo medio-bajo del río y el Paloredondo, que es el último río de importancia, en el inicio de su tramo bajo. Desde su nacimiento y durante gran parte de su recorrido, el río Santa discurre por un valle de origen tectónico, encajonado entre las cordilleras Blanca y Negra. El relieve de la cuenca tiene una disposición geométrica de forma alargada que se inicia desde la divisoria en la laguna de Conococha, con dirección SE-NO, haciendo una inflexión hacia el mar en su curso medio inferior, con un rumbo E-O.

El paisaje general de la cuenca es de alta montaña con pequeños valles glaciares, valles intermontañosos, altiplano y un valle en la parte baja. Posee un relieve muy variado con áreas accidentadas que van de fuertemente inclinadas a escarpadas. Las zonas planas o ligeramente inclinadas se sitúan en la llanura aluvial de la desembocadura y en la altiplanicie de Pampa de Lampas y alrededores de la laguna de Conococha, en la parte alta de la cuenca.

Para el cálculo de la erosión bruta de la cuenca se ha aplicado la metodología de la USLE (Universal Soil Loss Equation) que ha permitido obtener los valores de tasa de pérdida de suelo de una determinada área. La USLE es un método que se emplea universalmente para predecir a largo plazo la erosión en zonas agrícolas asociadas a diferentes tipologías de cultivo, en un área determinada, en base a un patrón de lluvia, el tipo de suelo, la topografía, el uso del suelo y las prácticas de gestión del suelo. Para implementar la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) se utiliza un programa SIG.

El volumen de sedimento transportado se ha obtenido del Coeficiente de Entrega de Sedimento (CES), que permite obtener la tasa neta de sedimento a partir de la tasa bruta de aportación sólida obtenida anteriormente. Se calcula la aportación de sedimentos en los puntos de cálculo de cada una de las

subcuencas definidas en el modelo hidrológico. El Coeficiente de Entrega de Sedimentos, o *Sediment Delivery Ratio*, es un método pseudoempírico que permite obtener la producción neta a partir de datos fisiográficos de la cuenca y su red de drenaje.

En un sentido cualitativo, a partir de estos resultados se detecta una erosionabilidad alta en términos absolutos, identificándose claramente la mayor susceptibilidad a la erosión del tramo medio del Santa. Se obtuvo un resultado de unas pérdidas potenciales de suelo medias de unas 282 t/ha/año, que representan unas tasas muy altas. El Coeficiente de Entrega de Sedimentos para la cuenca del río Santa resultó ser 6,91%, lo que arroja una degradación específica de unas 20 t/ha/año.

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 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.

Se han identificado las subcuencas con mayor potencial hidroeléctrico, siendo estas Medio Alto Santa (0,63 MW/km²), Condorcerro (0,61 MW/km²) y Bajo Manta (0,49 MW/km²).

Los tramos con mayor potencial de aprovechamiento hidroeléctrico en el tramo del río Santa situado en la subcuencas de Medio Alto Santa y Condorcerro entre las quebradas Coronguillo y Collpa, con saltos brutos disponibles entre unos 100 y 200 m. También se identifican dos tramos con potencial en el río Manta, con un salto bruto de unos 254 m y un potencia de unos 22 MW, y en el río Tablachaca, con un potencial de de unos 16 MW aprovechando un salto de unos 100 m.

Las concesiones hidroeléctricas existentes en la actualidad corresponden a las centrales hidroeléctricas de Cañón del Pato (Duke Energy), Santa Cruz I y II (Santa Cruz SAC), Pariac (SN Power) y Tanguche (Chavimochic). De entre todas estas centrales hidroeléctricas existentes a las que se ha otorgado concesión en la Cuenca Santa, destaca la de Cañón del Pato, con una potencia de 263,4 MW.

Las concesiones hidroeléctricas futuras corresponden al proyecto Central Hidroeléctrica Quitaracsa I de EnerSur S.A. (C.H. Quitaracsa I) y Central hidroeléctrica de Central Hidroeléctrica Cola I (Embalse Palo Redondo), de la empresa Hidroeléctrica Cola S.A.

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 ha encontrado posibles emplazamientos de presas de capacidad en torno a 50, 100 y 500 hm³, a lo largo del cauce principal del río Santa y sus distintos afluentes. En la zona del Alto Santa se han identificado diversos emplazamientos a lo largo del cauce principal del río Santa donde es posible almacenar un volumen de embalse de hasta 100 hm³. Estos embalses se sitúan cerca de las poblaciones de Recuay, Huaraz, Carhuaz y Yungay. Asimismo se han identificado algunas presas en afluentes del río Santa procedentes de la Cordillera Blanca, a saber, Pachacoto, Quillcay, Chancos, Colcas y Los Cedros. El área aportante a estos embalses es reducida, siendo necesario realizar estudios de factibilidad de más detalle para garantizar la viabilidad de estas soluciones en caso de considerarse de interés.

Tanto en la zona de Medio Santa como en la cuenca de Tablachaca se dispone de emplazamientos adecuados para almacenar volúmenes de embalse de hasta 100 hm³, y por último, aguas abajo de Condorcerro también sería posible la construcción de una presa, situada aguas arriba de las demandas principales del valle bajo.

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 Santa deben 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 de Medio Alto Santa y Condorcerro, en las que existen tramos fluviales de interés para para el aprovechamiento hidroeléctrico.
- Línea de Acción 4: **Mejora de la gestión del recurso hídrico**, con especial atención a las zonas deficitarias de la zona de Castilla Alta.

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 Santa, se han definido conclusiones y recomendaciones 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 del Gobierno Regional de Ancash y del Gobierno Regional de la Libertad y; ii) la toma de decisiones de la Autoridad Nacional del Agua en el otorgamiento de derechos y en el 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.

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 periodo temporal de 49 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 en la cuenca Santa arrojan déficits constantes en la satisfacción de las necesidades hídricas, debido al desbalance entre oferta y

demanda del periodo seco (entre mayo y noviembre) en determinadas subcuencas. Las demandas con mayores problemas de suministro son las relacionadas con el uso agrario, concentradas fundamentalmente en subcuencas altas sin regulación de lagunas ni aporte de glaciares. La figura siguiente representa dichos déficits en el periodo de cálculo del modelo (49 años) para la situación actual. La confiabilidad fue obtenida a nivel de cuenca es aceptable. Once zonas (Olleros, Rajucolta, Quilcay, Llanganuco, Colcas, Los Cedros, Collota-Quitaracsca, Corongo, Chuquicara, Medio Bajo Santa y Bajo Santa-Valle) presentan confiabilidad aceptable, el resto de las zonas presentan niveles altos de déficit. Los subsistemas que no cumplen los criterios exigidos de confiabilidad son Recreta, Chinchayhuasi, San Luis, Ampu, Shupuy, Parón y La Balsa.

- El análisis de la confiabilidad de la situación futura, considerando mayores requerimientos hídricos en las demandas, muestra una cuenca que cumple globalmente las confiabilidades exigidas pero con niveles de confiabilidad baja en ciertos subsistemas, especialmente en las subcuencas sin aporte glaciar. Las subcuencas con buena confiabilidad son Olleros, Rajucolta, Quilcay, Llanganuco, Colcas, Los Cedros, Collota-Quitaracsca, Corongo, Chuquicara, Medio Bajo Santa y Bajo Santa (Valle). La presa prevista en Palo Redondo (360 Hm3) permite el incremento de área agrícola en la zona de Chavimochic. La figura siguiente muestra estos resultados para la serie de cálculo de 49 años.
- Las conclusiones del análisis de los balances hídricos realizados indican que la situación de la cuenca de Santa, tanto actual como futura, es deficitaria en determinadas subcuencas, con confiabilidades por debajo de los límites aceptables, aunque la oferta media de toda la cuenca es superior a la demanda media.
- Por lo tanto, se recomienda el incremento de la regulación mediante reservorios y la reducción de la demanda a través de la modernización de las irrigaciones. Por otra parte, hay que recordar que el modelo puede y debe actualizarse y mejorarse a lo largo del tiempo para corregir los eventuales errores que se pudieran detectar y para añadir o mejorar componentes del modelo de los que se disponga de nueva información.
- 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 Santa, se han obtenido las series de disponibilidad de recurso hídrico superficial, discretizadas temporalmente (datos mensuales en una serie de 49 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.
- 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 49 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 eliminación 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 Santa se han generado 29 subcuencas para el cálculo hidrológico y se han escogido 03 estaciones para la calibración del modelo precipitación-escorrentía (EH Recreta, EH La Balsa y EH Condorcerro). Además se ha realizado la validación de los parámetros obtenidos en 06 estaciones más.
- La cuenca Santa genera anualmente un volumen de recurso hídrico bruto total de 4826 Hm³/año.
- 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 (incluyendo los Proyectos Especiales) 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 y empresas de generación de energía hidroeléctrica y mineras, especialmente Duke Energy y Barrick, que han aportado datos de sus estaciones hidrometeorológicas).
- 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.
- La determinación de las demandas de agua se ha basado en las estimaciones realizadas en estudios recientes aprobados las correspondientes instituciones oficiales (ANA, INRENA, Proyectos Especiales, etc.), así como los registros de consumos existentes (DARH, EPS...). De entre estos estudios tienen especial relevancia los realizados en el marco del Programa de Formalización de Derechos de Uso del Agua (PROFODUA) que fue validado por los propios

usuarios, y que ha sido adoptado por considerarse confiable y ofrecer valores mensuales de demanda del uso agrícola en la cuenca.

- Las estimaciones de demandas futuras se fundamentan, en el caso de la demanda poblacional, en tendencias demográficas, mientras que para los usos productivos se han consultado diversas fuentes de información en relación a ampliación de frontera agrícola en las irrigaciones existentes o bien a nuevos proyectos de regadío previstos en el futuro. En concreto se ha obtenido información del banco de proyectos del SNIP y los proyectos especiales Chavimochic y Chinescas, que prevén un mejoramiento de los riegos existentes y la ampliación de la frontera agrícola en los valles bajos. En otros casos, se ha supuesto el agotamiento futuro de los volúmenes de recurso hídrico otorgados para los usuarios industriales y la proyección de nuevas demandas para nuevas implementaciones industriales y ampliaciones de licencias mineras o de nuevas concesiones de otorgamiento seguro.
- La demanda total actual en la cuenca de Santa se estima en 1 546 MMC/año, mientras que la demanda futura a 2035 se estima que crezca hasta los 2 990 Hm³/año.
- La demanda poblacional se estima en 23,96 MMC anuales, teniendo en cuenta los suministros existentes, formales e informales. Los derechos otorgados por este uso son de 69,47 MMC y no reflejan la realidad de la cuenca en cuanto a necesidades poblacionales, pues aún existen agrupaciones de usuarios poblacionales no formalizadas a la fecha. En el caso de manantiales, el caudal o volumen licenciado para este uso suele ser coincidente con el aforado, el cual muy probablemente difiere de la demanda real, estimada ésta en base a los volúmenes reportados a las ALA para el pago de la retribución económica.
- La demanda agrícola es de 1 489,76 MMC anuales, más del triple de los derechos otorgados, de 437,12 MMC. De igual manera las superficies de riego que cuentan con licencia, permiso o autorización son hasta casi cuatro veces inferiores a las reconocidas en el PROFODUA. Es notorio, sobre todo en el valle alto (Callejón de Huaylas) y en la subcuenca Tablachaca la necesidad de culminar los procesos de formalización de derechos ya iniciados.
- Existen ciertas diferencias entre el resto de las demandas productivas y los derechos otorgados para las mismas, toda vez que se ha constatado la existencia de numerosos usos sin formalizar (p.ej. pozos industriales en la parte baja). Por otro lado, es asumible que una parte considerable de los usuarios no demanden actualmente un volumen equivalente al otorgado, el cual está previsto alcanzar en etapas futuras de la actividad productiva, p.ej. los proyectos mineros que están en operación.
- 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 sulfatos, hierro y cadmio (este último solo presente en la zona de desembocadura del río Santa al océano).
- En los monitoreos de las redes de calidad realizados por la ANA y DIGESA, se detecta que la calidad de los principales cauces está determinada fundamentalmente por las elevadas concentraciones de metales presentes, tanto en las aguas como en los sedimentos. En determinadas ocasiones, el origen de estos metales parece estar relacionado con la intensa actividad minera desarrollada en la cuenca, fundamentalmente en la parte alta. Por otro lado, en algunos casos el contenido en arsénico, zinc y cadmio parece tener un origen natural. La contaminación orgánica y microbiológica también es importante y como ya se ha comentado está relacionada con la existencia de vertimientos y con el aprovechamiento del terreno para actividades agrícolas y ganaderas

- Actualmente existen en la cuenca tres estaciones hidrométricas funcionando.

14.2. RECOMENDACIONES

- Al término del estudio iniciar el manejo del modelo de gestión para la cuenca Santa, 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.
- Se hace indispensable una reestructuración de los sistemas de riego instalados en la cuenca, evitando la inmensa cantidad de bocatomas provisionales existentes, y promoviendo la construcción de canales integradores. Ello podría efectuarse, previo condicionamiento a los agricultores de impedirles las modificaciones del cauce de los ríos, manteniendo sus márgenes incólumes, integrando y concentrando las captaciones de los ríos en un número mínimo de bocatomas de material noble.
- Se hace necesario sensibilizar a los usuarios para uso agrícola 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 les, 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. La implementación de medidores no se ha de limitar a las aguas superficiales en el cauce, sino que incluirían las aguas de recuperación y afloramientos de retornos procedentes de sectores ubicados aguas arriba.
- 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, mediante un sinceramiento de las tarifas que posibilite la sostenibilidad de la gestión del operador, y fomente el ahorro de agua.
- Se recomienda mantener actualizado el inventario de fuentes contaminantes en la cuenca.
- 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.
- 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.
- Se recomienda promover la revisión de la categorización de los cauces establecida en la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA.
- Se recomienda promover el desarrollo y difusión de un Manual de Buenas Prácticas Agrícolas.
- Se recomienda apoyar la propuesta de aprovechamiento en la cuenca Santa que identifica dos tramos especialmente interesantes para la explotación hidroeléctrica, situados en el río Santa aguas arriba de la quebrada Collpa con más de 44 MW de potencia bruta estimada y aguas arriba de la quebrada Pucapampa con más de 58 MW de potencia bruta estimada, ambos en Subcuenca de Condorcerro.
- Por lo que respecta a la regulación, en el estudio de identificación de zonas de almacenamiento realizado, se han encontrado posibles presas a lo largo del cauce del río Santa, en el tramo del Alto Santa, con capacidades de hasta 100 hm³.
- 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.