

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS



**EVALUACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA ACTUAL Y FUTUROS
RIESGOS EN LA COSTA PERUANA MEDIANTE EL CASO DEL
PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHIC, LA LIBERTAD**

Tesis para optar el título de Licenciada en Geografía y Medio Ambiente que presenta la
Bachiller:

NATALIA ASTE CANNOCK

ASESOR: Mg. FABIAN DRENKHAN

Lima, julio, 2018

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por todo su apoyo y comprensión.

A mi asesor Fabian Drenkhan, quien desde un inicio se comprometió a guiarme en esta tesis. Por encontrar el tiempo para aconsejarme, corregir minuciosamente mis avances, acompañarme a realizar el trabajo de campo, apoyarme en todo momento y, ante todo, por impulsarme a dar lo mejor de mí.

Al ingeniero Edgar Odar del PECH quien tuvo la amabilidad de recibirme en su oficina y la buena disposición para brindarme toda la información necesaria para desarrollar la investigación.

Al ingeniero Jack Bernabé del PECH quien se tomó el tiempo para guiarme por las instalaciones del Proyecto, aportar con sus conocimientos y brindarme información adicional.

A los profesionales de la Junta de Usuario de Riego Presurizado, de la Cuenca del Río Moche, de la Cuenca del Río Virú y del Subdistrito de Riego Chao quienes, sin dudarlo, me recibieron y brindaron información clave para cumplir con los objetivos de la investigación.

A Gabriel Cabada de la empresa Virú S.A. y Juan Valdivia de Danper S.A.C. quienes me concedieron entrevistas.

A Javier García Hernández y Javier Fluixá Sanmartín de CREALP, Suiza quienes me enseñaron el uso de RS MINERVE, encontraron el tiempo para hacer recomendaciones sobre mi modelo hidrológico y modificar el software para poder cumplir con los fines de la investigación.

A la Dirección de Gestión de la Investigación (DGI) PUCP por el apoyo PADET 2017 el cual fue fundamental para el desarrollo de la investigación. Además, a los revisores anónimos del PADET quienes brindaron observaciones y recomendaciones valiosas.

A Martín Timaná, quien revisó mi tesis y aportó con importantes observaciones y recomendaciones.

A Nicole Bernex por su revisión crítica de la investigación y sugerencias para la mejora de esta y futuros trabajos relacionados con la temática en cuestión.

RESUMEN

El agua es un recurso indispensable para la vida con un valor sociocultural, económico y ambiental. La costa peruana se caracteriza naturalmente por una marcada escasez hídrica; sin embargo, se han desarrollado intensivamente grandes proyectos de agricultura, actividad con el mayor consumo de agua en el Perú. En La Libertad se emplaza el Proyecto Especial Chavimochic (PECH), proyecto de irrigación cuyo principal suministro es el agua derivada del río Santa (Áncash) que proviene en gran parte de zonas altoandinas glaciadas (Cordillera Blanca). Por un lado, el PECH ha impulsado el desarrollo socioeconómico de la región convirtiéndose en un centro de agroexportación. Por otro lado, la continua expansión del área agrícola con cultivos de alto consumo de agua ha generado una creciente demanda hídrica y, en consecuencia una mayor presión sobre los escasos recursos hídricos. A ello se suma el retroceso glaciario en la cuenca del Santa con cambios en la escorrentía a largo plazo, particularmente en la época de estiaje (invierno austral).

Bajo ese contexto se prevén diferentes impactos, varios de ellos con repercusiones negativas sobre las condiciones de riego con el potencial de aumentar el estrés hídrico en la costa árida lo cual desafiaría aún más la futura gestión del agua. Al mismo tiempo, se presentan oportunidades para gestionar efectivamente los recursos hídricos con el potencial de reducir los conflictos sociales. La presente investigación evalúa la actual y futura demanda hídrica agrícola de los intervalles (agroindustria) y valles viejos (agricultura familiar) frente a planes de expansión del PECH y posibles cambios en la escorrentía superficial regional. El cálculo de la demanda hídrica agrícola actual de los intervalles se ha realizado mediante el software CROPWAT (FAO) en base a datos meteorológicos y de cultivos. Los datos de demanda de los valles viejos fue obtenida de las Juntas de Usuarios de Agua. La demanda hídrica agrícola bruta actual del PECH asciende a 596.5 hm³ de la cual el 87% es cubierta por el río Santa. A partir de tres escenarios de posibles trayectorias de desarrollo socioeconómico se proyectó la futura demanda hídrica a corto (2030) y mediano (2050) plazo.

Mediante la construcción de un modelo hidrológico semi-distribuido con el software libre RS MINERVE (CREALP), se estimó el balance hídrico actual y futuro para las 20 subcuencas de la región correspondientes a los valles viejos. Se calculó un balance hídrico actual y futuro negativo para los valles viejos lo cual reafirma la dependencia del Santa. Bajo cambios socioeconómicos e hidroclimáticos se proyectó el futuro caudal del Santa el cual demostró una significativa reducción durante la época de estiaje (~34 % al año 2050) lo cual conllevaría a un severo déficit hídrico futuro para el PECH y otros usuarios de agua en la costa. Si se considera el funcionamiento del reservorio planificado Palo Redondo (volumen útil: 366 hm³), se amortiguaría el déficit a corto plazo, más no al año 2050 bajo los escenarios más pesimistas de futura demanda hídrica. Los resultados obtenidos del futuro balance hídrico integrado proveen una base importante para llevar a cabo medidas estructurales y no-estructurales de gestión adaptativa del agua incluyendo a los diferentes usuarios y tomadores de decisión bajo un enfoque de cuenca hidrográfica.

ABSTRACT

Water is an essential resource for human life with a sociocultural, economic and environmental value. Naturally, the Peruvian coast is characterized by pronounced water scarcity, nevertheless it has harbored the development of large scale projects of agriculture which represents the main consumptive water use sector in Peru. In the coastal region of La Libertad lies the Chavimochic Project (abbreviated to PECH, according to its Spanish acronym) whose main water supply is water diverted from the Santa river (Ancash region) which in a large extent originates from the glaciated high Andes (Cordillera Blanca). On the one hand, due to the PECH La Libertad has become an agro-export production center contributing towards the socioeconomic development of the region. On the other hand, the continued expansion of cultivated areas with water-intensive crops under the PECH has provoked a growing water demand, thus, creating higher pressure on the scarce water resources. In addition, under rapid glacier shrinkage in the Santa river catchment the river's discharge will be altered at the long term, particularly in the dry season (austral winter).

In this context, different impacts are expected, several of them with negative feedbacks on irrigation conditions, with the potential to increase water stress at the dry coast which would even more challenge future water resources management. At the same time, new opportunities arise to effectively manage water resources with the potential to reduce social conflicts. The present study evaluates the current and future agricultural water demand of the intervalleys (agro-export lands) and the old valleys (small-scale agriculture) under plans of expansion and possible changes in the regional water supply. The agricultural water demand of the interfluves has been computed with the software CROPWAT (FAO) using meteorological and crop data. Data on the old valley's water demand was provided by the Board of Users. The gross agricultural water demand of the PECH was determined at 596.5 hm^3 , from which 87% is covered by the Santa river. Future water demand was projected under three possible socioeconomic pathways in the short (2030) and mid-term (2050).

An estimate of the current and future water balance for the 20 subbasins of the region has been calculated by creating a semi-distributed hydrological model using the free software RS MINERVE (CREALP). As a result, a current and future negative water balance was obtained which reaffirms the valley's dependence on the Santa's water supply. The future water supply of the Santa river was simulated under socioeconomic and hydroclimatic changes resulting in a significant reduction of its dry season discharge ($\sim 34\%$ by the year 2050) which would lead to a severe water deficit for the PECH and other water users at the coast. If the planned future reservoir Palo Redondo (use volume: 366 hm^3) is taken into account, the potential water deficit would be buffered until 2030. Nevertheless, under the most pessimistic water demand scenarios towards 2050, this water deficit would persist. The results of the integrated future water balance provide an important baseline for Adaptive Water Management measures including the different water users and decision makers under a watershed approach.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	VIII
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Problemática	3
1.2. Justificación	4
1.3. Preguntas de Investigación	6
1.4. Hipótesis	6
1.5. Objetivos	6
1.6. Caracterización del área de estudio	7
1.7. Estado de la Cuestión	21
2. MARCO CONCEPTUAL	25
2.1. Oferta y demanda hídrica.....	25
2.2. Agua Virtual.....	26
2.3. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) y Seguridad Hídrica	27
2.4. Normatividad e Institucionalidad hídrica en el Perú.....	28
2.5. Conflictos por agua y ciclo hidro-social del agua	29
3. METODOLOGÍA	30
3.1. Fase 1: Recopilación y procesamiento de data	32
3.2. Fase 2: Trabajo de Campo	34
3.3. Fase 3: Demanda y oferta hídrica actual (2016)	34
3.3.1. <i>Intervalles</i>	34
3.3.2. <i>Valles Viejos</i>	37
3.4. Fase 4: Proyecciones de demanda y oferta hídrica futura (2030 y 2050).....	37
3.4.1. <i>Intervalles</i>	37
3.4.2. <i>Valles viejos</i>	40
3.5. Fase 5: Balance hídrico actual (2016) y futuro (2030 y 2050).....	43
3.5.1. <i>Valles viejos</i>	43
3.5.2. <i>Total: intervalles y valles viejos</i>	45
3.6. Fase 6: Formulación de estrategias de adaptación	45
4. RESULTADOS	46
4.1. Demanda-oferta hídrica actual (2016).....	46
4.1.1. <i>Demanda hídrica agrícola: intervalles</i>	46
4.1.2. <i>Demanda hídrica agrícola: valles viejos</i>	53
4.1.3. <i>Balance hídrico</i>	54

4.2.	Demanda-oferta hídrica futura (2030 y 2050)	58
4.2.1.	<i>Intervalles</i>	58
4.2.2.	<i>Valles viejos</i>	62
4.2.3.	<i>Balance hídrico futuro</i>	64
5.	DISCUSIÓN	70
5.1.	Desarrollo agrícola en la costa peruana	70
5.2.	Demanda hídrica agrícola actual (2016).....	71
5.3.	Futura demanda hídrica agrícola (2030 y 2050)	77
5.4.	Balance hídrico	81
5.4.1.	<i>Balance hídrico actual (2016)</i>	81
5.4.2.	<i>Balance hídrico futuro (2030 y 2050)</i>	84
5.5.	Estrategias adaptativas de gestión de recursos hídricos	88
5.5.1.	<i>Medidas estructurales</i>	88
5.5.2.	<i>Medidas no estructurales</i>	89
6.	CONCLUSIONES	93
7.	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA	IX
	ANEXOS	XVIII



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Objetivos y metas globales del PECH	8
Tabla 02: Características de las cuencas hidrográficas del PECH.....	12
Tabla 03: Caudales históricos promedio de los ríos del PECH	12
Tabla 04: Población de las provincias del PECH.....	19
Tabla 05: Datos geoespaciales recopilados y sus fuentes	32
Tabla 06: Estaciones utilizadas en CROPWAT y su disponibilidad de variables climáticas (2016).....	33
Tabla 07: Caracterización de la situación actual (año 2016) de las variables de demanda hídrica agrícola (intervalles)	38
Tabla 08: Escenarios de futura demanda hídrica agrícola bruta (intervalles)	38
Tabla 09: Caracterización de la situación actual (año 2016) de las variables de demanda hídrica agrícola (valles viejos)	40
Tabla 10: Escenarios de futura demanda hídrica agrícola bruta (valles viejos).....	41
Tabla 12: Cultivos del PECH Etapas I y II (intervalles 2016)	48
Tabla 13: Demanda hídrica agrícola del PECH, según estación meteorológica	50
Tabla 14: Demanda hídrica agrícola bruta del PECH por Etapa (intervalles).....	51
Tabla 15: Comparación de resultados de demanda hídrica agrícola por sector (intervalles)	53
Tabla 16: Volumen de agua suministrada en los valles viejos (2016).....	54
Tabla 17: Demanda hídrica agrícola total del PECH (2016)	54
Tabla 18: Demanda hídrica cubierta por el Santa y déficit hídrico (valles viejos año 2016)	56
Tabla 19: Valoración de cultivos del PECH según entrevistas realizadas (N=5).....	59
Tabla 20: Relación de demanda hídrica agrícola bruta por cultivo y área cultivada por escenario (2030 y 2050)	60
Tabla 21: Proyecciones de demanda hídrica agrícola bruta (intervalles)	60
Tabla 22: Proyecciones de demanda hídrica agrícola bruta (valles viejos).....	62
Tabla 23: Porcentaje de demanda hídrica anual cubierta según horizonte temporal y escenario (valles viejos).....	66
Tabla 24: Déficit hídrico anual en los valles viejos según horizonte temporal y escenario (valles viejos).....	66
Tabla 25: Déficit hídrico futuro según escenario, horizonte temporal y reparto del Santa	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Canal Madre del PECH (provincia de Virú).....	8
Figura 02: Ubicación y extensión del PECH.....	9
Figura 03: Modelo Digital de Terreno (DTM) de las cuencas hidrográficas del PECH y del Santa.....	11
Figura 04: Variabilidad mensual de los caudales medios [m ³ /s] de los principales ríos del PECH.....	13
Figura 05: Caudal histórico diario m ³ /s (1958-2016) río Santa, estación Condorcerro.....	14
Figura 06: Organigrama de gestión de uso de agua agrícola del PECH.....	16
Figura 07: Producción de agua potable planta de tratamiento (1997-2016).....	17
Figura 08: Vista del PECH: Canal Madre y áreas cultivadas Virú (intervalles).....	20
Figura 09: Flujo de trabajo, metodología de la investigación.....	31
Figura 10: Estaciones meteorológicas e hidrométricas utilizadas en la investigación.....	33
Figura 11: Proceso de cálculo de RAC en CROPWAT.....	35
Figura 12: Modelo hidrológico semi-distribuido del PECH: división en 20 subcuencas, bandas altitudinales (400 m) y 18 confluencias con 6 observaciones de caudal.....	44
Figura 13: Cálculo del NDVI del PECH Sentinel 2B – 2 y 9 de mayo de 2016.....	46
Figura 14: Cultivos sembrados en los intervalles del PECH Etapa I y II (intervalles 2016).....	47
Figura 15: Cultivos de palto intervalles (Virú).....	48
Figura 16: Cultivos de arándano, empresa Danper S.A fundo Agromorín (Virú).....	49
Figura 17: Correlación entre la ET _o medida en la estación Moche y la calculada por CROPWAT y ET _o Calculator.....	50
Figura 18: Demanda hídrica agrícola del PECH (intervalles 2016).....	52
Figura 19: Resultados de calibración y validación estaciones Salinar y Chorobal.....	55
Figura 20: Porcentaje de demanda cubierta de los valles viejos por la oferta hídrica de sus ríos (año 2016).....	56
Figura 21: Balance hídrico actual para los intervalles y valles viejos considerando el caudal derivado por el Canal Madre, la oferta útil mensual promedio del Santa y su variabilidad (año 2016).....	57
Figura 22: Balance hídrico actual para los intervalles y valles viejos considerando el caudal derivado por el Canal Madre (año 2016).....	58
Figura 23: Proyecciones de demanda hídrica agrícola bruta de intervalles.....	61
Figura 24: Variación mensual en el caudal del Santa estación Condorcerro al año 2030 y 2050.....	62
Figura 25: Variación mensual en los caudales de los ríos del PECH bajo los escenarios RCP2.6 y 8.5 (2030 y 2050).....	63
Figura 26: Porcentaje de demanda cubierta balance hídrico valles viejos, según escenario y horizonte temporal.....	65
Figura 27: Balance hídrico intervalles y valles viejos - oferta útil del Santa año 2030 y 2050.....	67
Figura 28: Balance hídrico futuro intervalles y valles viejos (2030 y 2050) considerando la futura demanda hídrica de Chinecas y la regulación de Palo Redondo.....	68
Figura 29: Comparación entre la ET _o calculada con CROPWAT y los valores de la estación Moche..	71
Figura 30: Comparación ET _o estación Moche y San José.....	72
Figura 31: Demanda hídrica bruta calculada con CROPWAT y de fuentes secundarias.....	73
Figura 32: Balance hídrico actual para los intervalles y valles viejos considerando la reserva del Santa y volumen de agua derivada por el Canal Madre (año 2016).....	83

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ALA	Autoridad Local del Agua (ANA)
AAA	Autoridad Administrativa del Agua (ANA)
ANA	Autoridad Nacional del Agua (MINAGRI)
CHINECAS	Proyecto Especial Chinecas
CRHC	Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (ANA)
DEM	Modelo Digital de Elevación
DTM	Modelo Digital de Terreno
ESCALE	Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU)
ET _o	Evapotranspiración de referencia
ET _c	Evapotranspiración de cultivo
FAO	Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura (Naciones Unidas)
GIRH	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
GWP	Global Water Partnership
hm ³	Hectómetro cúbico (10 ⁶ m ³)
IDH	Índice de Desarrollo Humano (PNUD)
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático
INCORE	Índice de Competitividad Regional
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
JU	Junta de Usuarios de agua
JURP	Junta de Usuarios de Riego Presurizado (Distritos de Chao-Virú-Moche)
K _c	Coefficiente de cultivo
LRH	Ley de Recursos Hídricos
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
MRSE	Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos
NDVI	Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación
NIR	Infrarrojo cercano
ONERN	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
PECH	Proyecto Especial Chavimochic
RAC	Requerimiento de Agua de Cultivo
RCP	Trayectoria Representativa de Concentración (IPCC)
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (MINAM)
SNGRH	Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (ANA)
SNIRH	Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (ANA)
SIG	Sistemas de Información Geográfica
WMO	Organización Mundial Meteorológica (Naciones Unidas)

INTRODUCCIÓN

El Perú tiene un gran potencial hídrico, con 62,655 hm³/cápita/año es el país con mayor disponibilidad de agua dulce en América Latina (ANA, 2012). Sin embargo, existe una disparidad espacio-temporal en la oferta de agua. El 66% de la población (~20 millones de habitantes) se concentra en la costa árida de la vertiente del Pacífico con solo 2.18% de la oferta hídrica, aproximándose al nivel de estrés hídrico (1,700 m³/cápita/año) (ANA, 2012). Más aún, en dicha región se concentran actividades económicas y se ha evidenciado un aumento en la demanda hídrica por el incremento de agroexportación, hidroenergía y usos industriales y domésticos en el contexto del crecimiento poblacional (PNUD, 2009; Lynch, 2012).

La costa peruana se ha transformado de un desierto hiper-árido atravesado por valles tradicionalmente de uso agrícola a una región ampliamente cultivada. La expansión de la frontera agrícola hacia las zonas áridas entre los valles (intervalles) se ha concretado a través de proyectos de irrigación, tales como, de norte a sur, Chira-Piura (Piura), Olmos-Tinajones (Lambayeque), Jequetepeque-Zaña (La Libertad), PECH (La Libertad), Chincas (Áncash) y Agua Grande (Ica-Huancavelica). Dichos proyectos se concentran en el norte del país y han sido priorizados a partir de la segunda mitad del siglo XX por políticas sobre agua y desarrollo que han concebido a la costa como la región destinada a la agroexportación (PNUD, 2009; Marshall, 2014).

Bajo la 'misión hidráulica' se ha reasignado y redistribuido el agua de origen altoandino hacia la costa lo cual ha posibilitado el desarrollo agrícola y socioeconómico, pero también ha acentuado las competencias por el agua (Mills-Novoa & Taboada Hermoza, 2017). Por un lado, en la costa desértica del Perú se ha logrado incorporar áreas anteriormente no fértiles (limitación de agua y características desfavorables del suelo) mediante una alta tecnificación de riego. Ello ha contribuido a la consolidación de centros de producción con fines de agroexportación en regiones anteriormente poco desarrolladas generándose el 60% del PBI agrícola y concentrando el 47% de la PEA agrícola nacional (Gómez, 2007). Además, el agua es paralelamente aprovechada para la producción y hidroenergía y tratada para consumo poblacional. Por otro lado, la expansión agrícola ha generado un alza en la demanda hídrica que junto a otros estresantes socioeconómicos e hidroclimáticos aguas arriba y aguas abajo los cuales están provocando fuertes cambios en la hidrología de las cuencas andino-costeras (Drenkhan et al., 2016). En consecuencia, existe el riesgo de sobrepasar la capacidad de las cuencas, con condiciones más propensas hacia una escasez hídrica espacio-temporal, particularmente en la época de estiaje, compartida aguas arriba-aguas abajo (FAO, 2013).

La presente tesis *Evaluación de la demanda hídrica agrícola actual y futuros riesgos en la costa peruana mediante el caso del Proyecto Especial Chavimochic, La Libertad* se centra en el análisis de la demanda hídrica agrícola actual del PECH y sus posibles trayectorias a corto (2030) y mediano plazo (2050), contextualizándola con la actual y futura oferta hídrica regional. Para ello se ha desarrollado una metodología integrada con la aplicación de herramientas y métodos cuantitativos y cualitativos que permiten evaluar el balance hídrico actual y futuro del PECH, identificar posibles riesgos y formular estrategias adaptativas frente a potencialidades de escasez de agua.

La investigación está contextualizada en el marco normativo nacional de la nueva Ley de Recursos Hídricos (2009) a fin de garantizar una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). El estudio se centra en el PECH, sin embargo cabe resaltar que el contexto y la problemática exhibidos así como los resultados y propuestas tienen un alcance más allá del caso específico analizado. La expansión agrícola es un fenómeno que ocurre a lo largo de la costa peruana donde se evidencia una mayor presión sobre los recursos hídricos en el contexto del crecimiento de demanda hídrica e impactos del cambio climático. Por lo tanto, estas regiones están propensas a fuertes competencias entre diferentes usuarios de agua y, por ende, una mayor frecuencia de conflictos hídricos y necesidad de abordar una gestión sostenible del recurso hídrico a largo plazo. En ese sentido, se espera que la investigación provea una aproximación a una problemática regional y postulados internacionales bajo un enfoque de GIRH y seguridad hídrica.



1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problemática

En los Andes peruanos se concentra el 70% de la cobertura mundial de glaciares tropicales los cuales desempeñan un rol fundamental en el aprovisionamiento y regulación hídrica. Sin embargo, en las últimas décadas estos han sido sujetos a un acelerado proceso de desglaciación (Rabatel et al., 2013). En las últimas tres décadas La Cordillera Blanca (Áncash), la cordillera tropical con mayor cobertura glaciar del país, ha perdido un 34% de su superficie glaciar, afectando su capacidad amortiguadora. Ello se evidencia en la cuenca del río Santa la cual concentra el 68% (~328 km²) de la superficie glaciar total de la Cordillera Blanca contando con un importante suministro hídrico de fuentes glaciares, como lagunas, agua subterránea y precipitación directa (Condom et al., 2012; ANA, 2014). La cuenca del Santa ha sido sujeta a estresantes hidroclimáticos y socioeconómicos como el aumento en la demanda hídrica con el potencial de inducir a cambios en el régimen hídrico (Baraer et al., 2012; Drenkhan et al., 2015). Así, se ha identificado un vínculo entre el retroceso glaciar, disminución en el caudal y aumento en la variabilidad temporal del Santa, particularmente en la época de estiaje (mayo-setiembre). Este desarrollo amenaza las actividades productivas en la costa, especialmente el sector agrícola el cual depende del agua del Santa.

En la cuenca baja del Santa, el agua es utilizada de manera intensiva por dos Proyectos Especiales de Irrigación: PECH (La Libertad al noroeste) y Chincas (Áncash al suroeste). A través de los años se han generado conflictos de asignación, usos y disponibilidad de agua entre las regiones de Áncash y La Libertad, las comunidades campesinas y empresarios. El PECH es uno de los proyectos de irrigación e hidroenergía más importantes del Perú y ejemplo del nuevo paradigma de la agricultura de exportación (Drenkhan et al., 2015). Por otro lado, Chincas fue creado con el fin de ampliar la frontera agrícola en Áncash; sin embargo, actualmente este no es altamente operacional mientras que el PECH ha tenido un crecimiento acelerado desde 1997. Ambos proyectos compiten por el uso del agua, especialmente visto que el PECH irrigaría aproximadamente 100,000 ha más que Chincas. Aunque estudios demuestran una mayor variabilidad en el caudal del Santa, ambos proyectos vienen utilizando volúmenes mayores de agua del río (Bury et al., 2013).

El PECH es de primordial importancia en la GIRH por su continua expansión, uso de agua e importancia económica. Desde su inicio en el año 1986, 40 mil hectáreas de tierras han sido irrigadas. Además, cubre el tratamiento de agua potable para la ciudad de Trujillo cuya población ha crecido de 354,000 a 800,000 habitantes en el periodo 1980-2015 (CEPAL, 2001; INEI, 2015). También cuenta con usos no-consuntivos de agua como la generación de hidroenergía (MW). Es así como el PECH se ha expandido a través de los valles de Chao, Virú, Moche (Etapas I y II) y, próximamente, Chicama (Etapa III) con beneficios socioeconómicos para La Libertad y la región. Ello ha conllevado a un fuerte aumento en el consumo de agua por el sector agrícola de 289 hm³ en el periodo 1998-2016 (PECH, 2017a).

La significativa demanda hídrica agrícola se deriva de la gran extensión de áreas cultivadas y al escaso aporte pluvial. A ello se suma la siembra de cultivos no-tradicionales destinados a la exportación con altos requerimientos hídricos como espárrago, palto y vid (ANA et al.,

2015) . De ese modo, a través de cultivos, el PECH exporta grandes volúmenes de agua virtual desde una región deficitaria de recursos hídricos hacia regiones - en parte - con superávit de agua. En el marco de cambio climático, la creciente demanda hídrica agrícola del PECH podría generar consecuencias negativas, especialmente al contextualizarla con los cambios registrados en la hidrología del Santa (PNUD, 2009). Más aún, la incorporación de nuevas áreas de cultivo significaría un aumento en la demanda hídrica. Frente a ello se ha previsto la construcción de la Presa Palo Redondo para amortiguar el estiaje y regular la oferta hídrica en vez de gestionar la demanda.

Es así como en torno a la creciente demanda hídrica agrícola del PECH relucen riesgos hidrológicos y vulnerabilidades socioeconómicas, especialmente en una región de producción diversificada con fines de exportación (Marshall, 2014). Los cambios en las dinámicas hidro-sociales en la cuenca del Santa podrían agudizar el estrés hídrico y poner en riesgo al PECH y a la región. Más aún los efectos se extenderían hacia Áncash, generando mayores competencias entre los usuarios aguas arriba y abajo del Santa (Bury et al., 2011).

1.2. Justificación

La costa peruana, caracterizada por una escasez hídrica, ha sido una región de desarrollo intensivo del sector agrícola con un alto consumo de agua de origen altoandino. Sin embargo, debido al retroceso glaciar, se han registrado cambios en la hidrología, por lo tanto, en la disponibilidad hídrica. A dicha situación se suman tendencias de creciente demanda hídrica agrícola, generando una mayor presión sobre los recursos hídricos. Dentro de ese marco, resulta paradójico promover el desarrollo agrícola intensivo en la costa, más aún el traslado de agua de cuencas vecinas para satisfacer la alta demanda hídrica de cultivos no tradicionales. La problemática se agudiza con un enfoque de desarrollo orientado hacia la agroexportación, por ende, del escaso recurso hídrico a través de flujos virtuales de agua.

Las tendencias de aumento en la demanda hídrica agrícola del PECH, especialmente por su futura expansión (144,000 ha) incrementarían la presión sobre la oferta del Santa, agravando la escasez hídrica en la región. De ello se desprenden consecuencias ambientales y socioeconómicas las cuales deben ser evaluadas bajo el enfoque de la GIRH. En la actualidad, el paradigma de gestión de la oferta hídrica ha virado hacia uno de demanda con el fin de alcanzar un manejo sostenible de los recursos hídricos (WMO, 2001). Resulta crucial realizar una evaluación temporal de la demanda hídrica agrícola del PECH enfocada hacia los potenciales riesgos hidrológicos y socioeconómicos derivados del creciente consumo hídrico y cambios en la oferta hídrica. La pertinencia de ello recae en la importancia económica que ha significado el desarrollo agrícola para La Libertad además de las potenciales implicancias sociales detrás de un manejo inadecuado del agua del Santa. Desde el inicio del riego del PECH en el año 1994, La Libertad ha tenido un significativo crecimiento económico y social (Marshall, 2014). Es así como el desarrollo y estabilidad socioeconómica de la región depende del abastecimiento de agua para el sector agrícola, por ende, de un manejo sostenible del agua y gestión de la creciente demanda.

En cuanto a la dimensión social, la evaluación de la creciente demanda hídrica y la disponibilidad hídrica tanto en relación al ámbito interno del PECH (La Libertad) como externo (Áncash) posibilitará una aproximación integrada a la vulnerabilidad social y competencias entorno al uso y manejo del agua. Especialmente, las tensiones y relaciones de poder dentro del proyecto entre los pequeños agricultores y las agroindustrias. Además, la creciente vulnerabilidad de los pequeños agricultores de la cuenca del Santa y la tensión geopolítica con Áncash (Chinecas). En ese sentido, una evaluación de la actual y futura demanda hídrica del PECH aportará una base de conocimiento para desarrollar estrategias hacia una gestión integrada y sostenible del agua. Se espera con ello reducir las competencias sectoriales y la vulnerabilidad socioeconómica y ambiental hacia una hidroseguridad.

Entidades internacionales advierten sobre tendencias globales de aumento en la demanda hídrica debido al crecimiento poblacional y cambios en los patrones de consumo (FAO, 2013; WWAP, 2015). Se enfatiza el papel dominante del sector agrícola en las extracciones globales de agua. Además, se afirma que la tasa de aumento de demanda hídrica agrícola es insostenible y responde a la demanda del mercado por productos de uso intensivo de agua (FAO, 2013; WWAP, 2015, 2016). En el PECH se ha evaluado la demanda hídrica sin ahondar en la demanda-oferta hídrica bajo escenarios futuros de cambio global. Dada la escasez hídrica en la costa peruana, resulta crucial una metodología que profundice la relación hídrico-agrícola. Si bien en el Perú se evidencian tendencias generales de aumento en la demanda hídrica, es primordial incidir en el sector agrícola ya que, con un 80% de consumo total, es el mayor consumidor de agua en el Perú y además, tiene las mayores posibilidades de ajuste en el manejo del agua (FAO, 2013).

La metodología propuesta permitirá evaluar la actual y futura demanda hídrica agrícola con una visión sobre los posibles impactos del cambio climático en la disponibilidad hídrica. Ello permitirá vincular los potenciales riesgos hidrológicos con el desarrollo económico y bienestar poblacional. Por otro lado, se debe enfatizar el carácter replicable de la metodología y el caso de estudio. El PECH se presenta como análogo a los procesos que ocurren en la costa peruana a causa de la expansión de la frontera agrícola. Es así como la metodología puede ser aplicada a escala nacional o internacional, además el enfoque permitirá gestionar la demanda hídrica agrícola hacia un desarrollo sostenible y seguridad hídrica dentro del enfoque de la GIRH. La cuantificación de la futura demanda hídrica se presenta como un desafío debido a inconsistencia en datos actuales y mayores incertidumbres respecto al futuro (cambio climático, condiciones socioeconómicas y políticas) (WWAP, 2016); sin embargo, se busca afrontar dicho desafío mediante instrumentos y procedimientos que han sido utilizados exitosamente en estudios afines. Se espera que los resultados de la investigación sienten las bases para una efectiva toma de decisiones y un proceso de adaptación frente a la incertidumbre de los impactos del cambio climático. Finalmente, el estudio ampliará la gestión del agua mediante un enfoque de cuencas que demuestre la conectividad aguas arriba – aguas abajo.

1.3. Preguntas de Investigación

¿Cuál es la demanda hídrica agrícola actual del PECH y cómo evolucionará a corto (2030) y mediano plazo (2050) en relación a escenarios de cambio climático global?

- ¿Cuál es la demanda hídrica agrícola actual del PECH y es esta satisfecha por la oferta hídrica?
- ¿La demanda hídrica actual del PECH corresponde a un uso racional y sostenible de agua en relación a la oferta hídrica?
- ¿Cuáles son las posibles trayectorias, potenciales de conflictos hidro-sociales y oportunidades bajo los escenarios de desarrollo agrícola y demanda hídrica del PECH?
- ¿Podrá ser satisfecha la futura demanda hídrica agrícola del PECH a corto plazo (2030) y mediano plazo (2050) por la oferta hídrica futura del río Santa y de los ríos de los valles viejos?
- ¿Qué medidas adaptativas podrían ser implementados en el caso del PECH y la costa peruana para asegurar una gestión sostenible de la demanda hídrica a largo plazo?

1.4. Hipótesis

Actualmente la elevada demanda hídrica agrícola del PECH se encuentra satisfecha por la oferta del río Santa. A corto plazo (2030) con la continua expansión de la frontera agrícola se prevé un incremento en la demanda y, a mediano plazo (2050), con la culminación de la Etapa III del PECH esta se hará más aguda. A ello se contraponen un menor caudal y mayor variabilidad en el caudal del río Santa, especialmente en la época de estiaje por el retroceso glaciar en la Cordillera Blanca. Así, la creciente demanda agrícola del PECH generaría una mayor presión sobre la ya cambiante hidrología del río Santa y sobre la oferta hídrica regional del PECH, generándose un punto de inflexión en el que la futura demanda hídrica agrícola no podrá ser satisfecha por la decreciente oferta del río Santa y de los ríos del PECH.

1.5. Objetivos

Objetivo General

Evaluar la demanda hídrica agrícola presente y futura del PECH en relación a la oferta hídrica y riesgos hidrológicos en la región.

Objetivos Específicos

- Calcular la demanda hídrica agrícola actual en la zona de influencia del PECH con el software CROPWAT.
- Proyectar la demanda hídrica agrícola del PECH al año 2030 y 2050 bajo tres escenarios socioeconómicos.
- Proyectar la futura oferta hídrica superficial de las cuencas del PECH y del Santa bajo escenarios hidroclimáticos y socioeconómicos.
- Modelar el sistema hidrológico en las cuencas del Chao, Virú, Moche y Chicama, incorporando la actual y futura demanda hídrica agrícola y la oferta hídrica.
- Proponer estrategias adaptativas para una gestión sostenible de la demanda hídrica agrícola del PECH bajo un enfoque integrado de cuenca.

1.6. Caracterización del área de estudio

La costa peruana

La costa peruana es una de las tres regiones geográficas naturales del Perú con la menor área (11% del territorio nacional); sin embargo concentra aproximadamente el 66% de la población peruana (Torres-Muga, 2011; ANA et al., 2015). La costa es una franja que limita por el oeste con el Océano Pacífico y por el este se extiende hasta una elevación entre 800-1,000 msnm. Se caracteriza por la predominancia de desiertos atravesados por 52 ríos provenientes de la Cordillera de los Andes, creándose así valles fértiles donde históricamente se han emplazado sociedades y se ha desarrollado la agricultura a partir de la construcción de canales de irrigación (Peñaherrera, 2004; Torres-Muga, 2011).

La costa peruana tiene un clima diferenciado entre su zona norte (Lambayeque-frontera Ecuador) y su zona centro-sur (La Libertad-Tacna). Los principales agentes moldeadores del peculiar clima de la costa peruana son la corriente fría oceánica, el anticiclón del Pacífico Sur y la Cordillera de los Andes (Peñaherrera, 2004). El clima y vegetación de la costa peruana se caracteriza por el fenómeno de inversión térmica a partir del cual se forma una capa de nubes estratificadas. De forma general, la costa presenta un clima templado cálido marcado por una escasa precipitación durante todo el año (<100 mm) y una alta humedad relativa atmosférica (84-93%) (Peñaherrera, 2004). Debido a la inversión térmica, durante el invierno austral incrementa la humedad relativa con la aparición de densas neblinas y garúas (Peñaherrera, 2004). Por otro lado, en el verano austral se presenta muy poca neblina y altas temperaturas con lluvias esporádicas provenientes del lado oriental. Dada las condiciones climáticas de la costa, en especial por su marcada aridez, el desarrollo agrícola se ha visto condicionado a la canalización y traslado de agua.

Descripción del PECH

El PECH es un proyecto de irrigación desarrollado en la vertiente hidrográfica del Pacífico, en la costa norte del Perú, en la región La Libertad, a 550 km al norte de la ciudad de Lima. El ámbito de influencia del proyecto abarca las provincias de Virú, Trujillo y Ascope. El Proyecto limita por el sur con la margen derecha del río Santa y por el norte con las Pampas de Urricape (distrito de Paiján) (GORE La Libertad & PECH, 2014). El PECH forma parte del ámbito de la cuenca del Santa visto que el río Santa es su principal fuente hídrica. Además, el Proyecto utiliza los recursos hídricos de los ríos Chao, Virú, Moche y Chicama.

El PECH consiste de tres Etapas a través de las cuales se ha mejorado el riego y ampliado el área agrícola de los denominados valles viejos de Chao, Virú y, próximamente Chicama (Tab. 1). Por otro lado, se ha incorporado a la agricultura las tierras eriazas de los intervalles. Además, se ha suministrado agua potable a la ciudad de Trujillo y generado energía hidroeléctrica para los valles de Chao y Virú. El Proyecto comprende infraestructura hidráulica que ha permitido la distribución y suministro de agua del río Santa a lo largo del litoral de La Libertad (Fig. 1). Entre las principales obras hidráulicas se encuentra la bocatoma Chavimochic (412 msnm) y el Canal Madre. Las Etapas I y II ya han sido concluidas y la III se encuentra en ejecución (Fig. 2).

Figura 1: Canal Madre del PECH (provincia de Virú)



Foto propia (febrero, 2017).

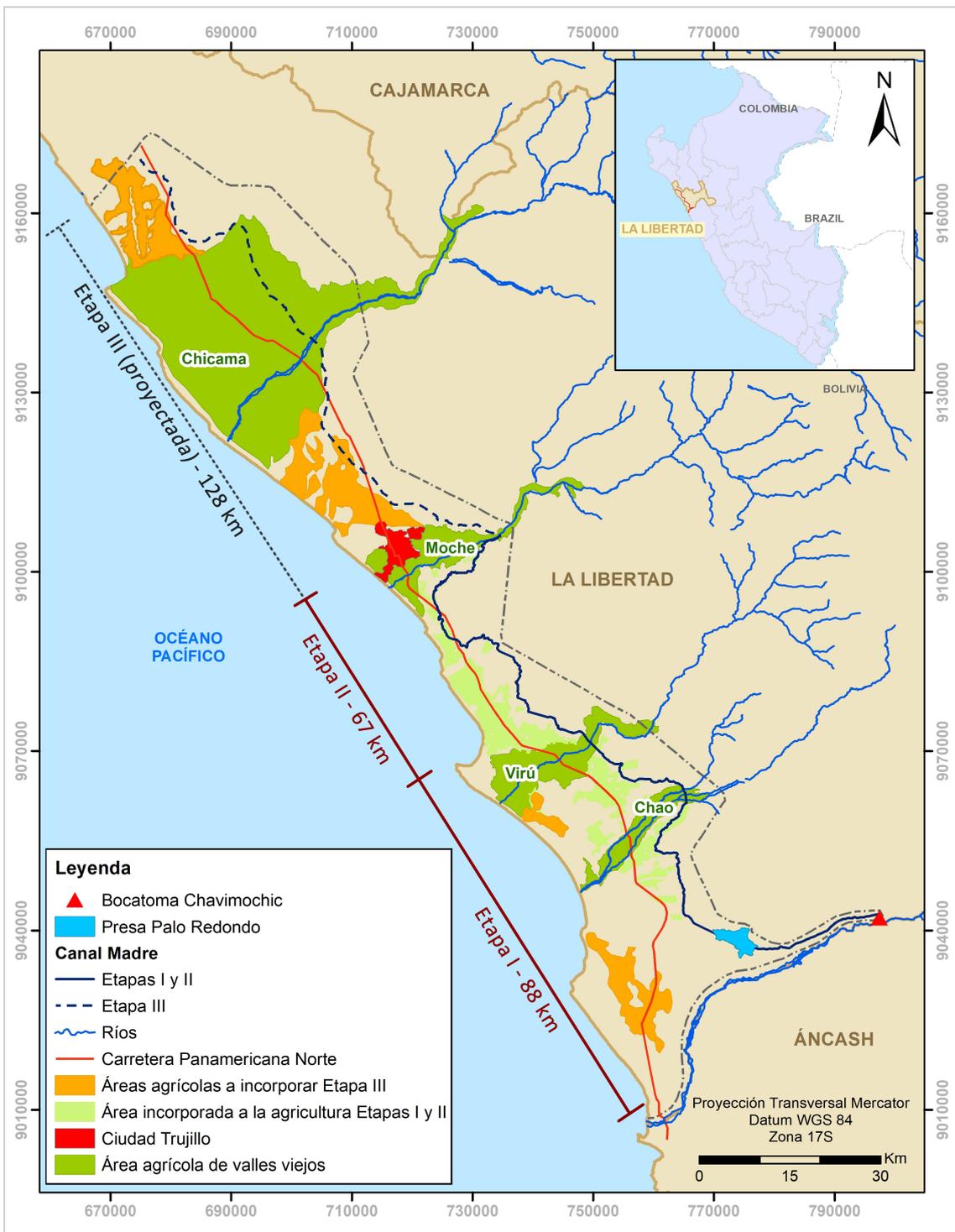
La Etapa I se extiende desde la margen derecha del río Santa hasta la margen izquierda del valle del río Virú (88 km). Las obras principales de la Etapa I fueron la bocatoma Chavimochic, Canal Madre túnel intercuenca-Chao, Minicentral Hidroeléctrica de Virú, Microcentrales hidroeléctricas El Desarenador y sistema de riego presurizado. La Etapa II comprende el tramo valles Virú-Moche (67 km) y las principales obras son el Canal Madre Virú-Moche y la planta de tratamiento de agua potable. La Etapa III - en ejecución - se extiende a través de los valles de Moche y Chicama hasta las Pampas de Urricape. Entre sus obras se encuentra la construcción de la presa Palo Redondo (capacidad de 400 hm³ y 366 hm³ de volumen útil) y extensión del Canal Madre (GORE La Libertad & PECH, 2014). De ese modo, al concluirse la Etapa III, el Proyecto tendrá una extensión total de 283 km con 144,385 ha bajo riego.

Tabla 1: Objetivos y metas globales del PECH

ETAPA	Mejoramiento de Riego (ha)	Incorporación Áreas (ha)	Familias Beneficiadas
ETAPA I	17,948	33,957	40,000
SANTA	500	6,725	1,000
CHAO	5,331	9,765	5,000
VIRU	12,117	17,467	34,000
ETAPA II	10,315	12,708	126,000
VIRU-MOCHE	10,315	12,708	126,000
ETAPA III	50,047	19,410	65,000
MOCHE-CHICAMA	50,047	19,410	65,000
TOTAL	78,310	66,075	231,000

Nota. Recuperado de "Memoria anual 2014 Proyecto Especial Chavimochic", de GORE La Libertad y PECH, 2014, p. 18.

Figura 2: Ubicación y extensión del PECH



Fuentes: JURP, 2016; PECH, 2017; Geoservidor del MINAM. Elaboración propia.

Aspectos físico-naturales

El relieve de La Libertad es variado, sin embargo, el PECH se emplaza en una zona llana lo que ha favorecido la construcción de infraestructura hidráulica y la expansión de la frontera agrícola. La franja costera es un territorio poco accidentado donde las principales unidades geomorfológicas son los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama y las pampas (Pur Pur, las Dunas, Urricape y Coscomba) las cuales permanecen áridas durante todo el año. Si bien el PECH abarca una longitud de 283 km, se emplaza en un área con condiciones climáticas bastante homogéneas. El ámbito del PECH corresponde a una altitud por debajo de los 1,600 msnm y la mayor extensión del Proyecto se encuentra en el rango altitudinal de 25-400 msnm (Fig. 3).

En la costa, a medida que aumenta la distancia desde el litoral y la elevación, la temperatura incrementa hasta la cota de 800 msnm a partir de la cual desciende con la elevación (ONERN, 1973a). El emplazamiento del PECH por debajo de los 400 msnm, implica que la temperatura no descienden drásticamente. Es así como el clima del PECH es semi-tropical, cálido con una temperatura media anual de 18°C, con alta humedad relativa atmosférica superior a 80%. En general, el régimen de temperaturas tiende a ser bastante regular y estable lo cual favorece el desarrollo agrícola (ONERN, 1973). En el área del PECH hay un aporte pluvial poco significativo, pero en las cuencas altas la precipitación es el principal contribuidor a las descargas de los ríos de los cuatros valles del PECH (ONERN, 1973).



Figura 3: Modelo Digital de Terreno (DTM) de las cuencas hidrográficas del PECH y del Santa



Hidrografía

El ámbito del PECH comprende cuatro principales cuencas con sus correspondientes ríos: Chao, Virú, Moche y Chicama además del río Santa cuya agua es derivada y distribuida meridionalmente a través de los cuatro valles viejos e intervalles que comprenden el Proyecto (Tab. 2). Los recursos hídricos son la parte fundamental del PECH visto que es un proyecto multisectorial de manejo de agua, siendo su principal objetivo irrigar la costa de La Libertad. Por ello es necesario contar con una comprensión y análisis multiescalar espacio-temporal de la disponibilidad hídrica.

Tabla 2: Características de las cuencas hidrográficas del PECH

Cuenca hidrográfica	Extensión [km ²]	Longitud [km]	Pendiente promedio [%]
Santa	11,597	316	1.4
Chicama	4,494	160	3.0
Moche	2,115	102	4.0
Virú	1,912	89	5.0
Chao	1,558	76	5.0

Fuentes: PECH, 2013; ONERN, 1973a; ONERN, 1973b; ONERN, 1973c.

Como se muestra en la Tab. 3. Los ríos del PECH presentan una marcada estacionalidad entre la época seca (mayo-setiembre) y la época húmeda (octubre-abril). Asimismo, hay una disparidad en el aporte hídrico entre los ríos del Proyecto. El río Santa (Condorcerro) cuenta con el mayor caudal promedio el cual es seis veces mayor que el caudal del río Chicama (Tambo).

Tabla 3: Caudales históricos promedio de los ríos del PECH

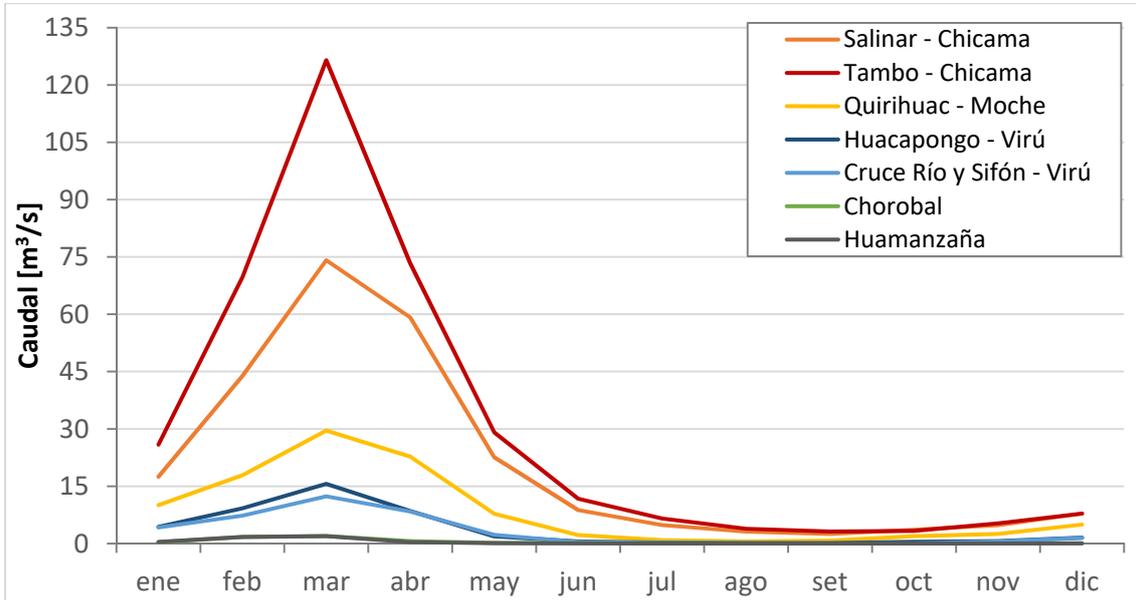
Río	Estación de aforo	Altitud msnm	Periodo	Caudal [m ³ /s]		
				Época seca	Época húmeda	Promedio
Santa	Condorcerro	477	1958-2016	62.75	191.46	137.83
Chicama	Tambo	712	1998-2016	9.00	60.65	30.52
	Salinar	330	1950-1997/2002-2004/2011-2016	7.17	40.49	21.06
Moche	Quirihuac/ Puente Fierro	200	1950-2016	2.37	17.04	8.48
Virú	Huacapongo	280	1950-1998	0.56	7.86	3.60
	Sifón Virú	112	1999-2016	0.50	6.74	3.10
Chorobal	Chorobal	268	1998-2016	0.05	0.93	0.41
Huamanzaña	Huamanzaña	253	1998-2016	0.03	0.63	0.38

Fuente: Portal Agrario La Libertad, 2016. Elaboración propia.

En la Fig. 4 se observa la variabilidad mensual de los caudales medios de los ríos del PECH para el periodo de disponibilidad de datos donde se aprecia la marcada temporada húmeda y una época de estiaje con caudales muy bajos. Además, se aprecia cómo el río Chicama cuenta el mayor aporte hídrico anual, luego los ríos Moche y Virú con descargas

significativamente menores. Finalmente, los ríos Huamanzaña y Chorobal presentan descargas bajas, no obstante, importantes para el desarrollo de una pequeña agricultura en la cuenca media-alta de Chao.

Figura 4: Variabilidad mensual de los caudales medios [m³/s] de los principales ríos del PECH



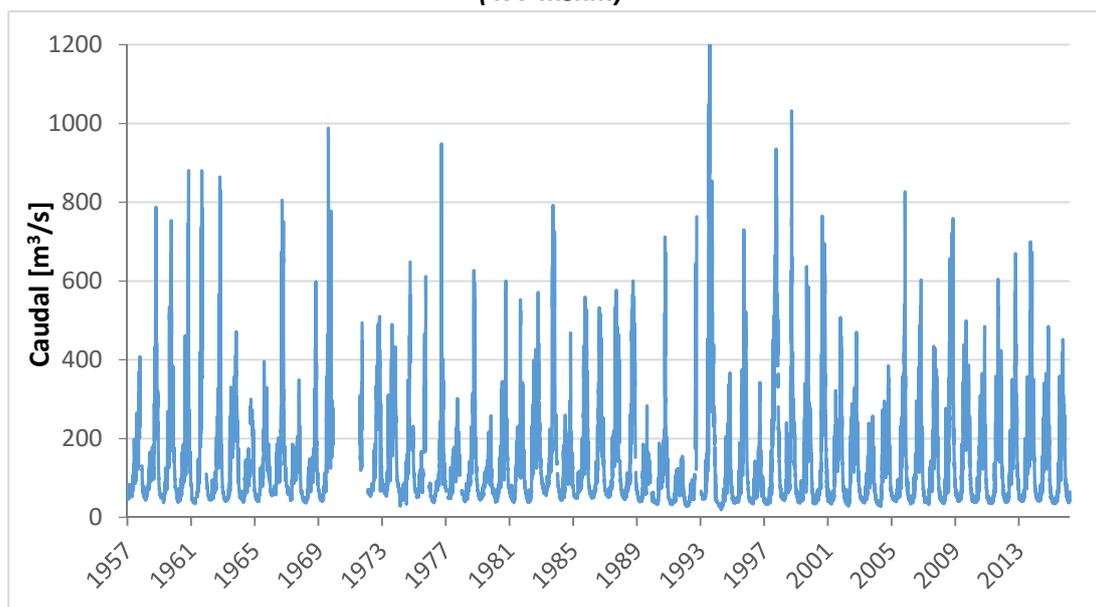
Fuentes: Portal Agrario La Libertad, 2016; PECH, 2017. Elaboración propia.

Cuenca del río Santa

La cuenca del Santa no forma territorialmente parte del PECH, pero el río Santa es el principal suministro del Proyecto. A partir de la bocatoma Chavimochic en el distrito de Chao se deriva el agua del río Santa a través del Canal Madre. La cuenca del Santa es la segunda cuenca más importante de la costa y está ubicada en la sierra y costa en Áncash, limitando por el norte con La Libertad. La naciente del río Santa se encuentra a 4,080 msnm en la Laguna Conococha y el río presenta una dirección de Sur a Norte hasta el final del Cañón del Pato, a partir del cual cambia su dirección de Este a Oeste hasta su desembocadura en el Océano Pacífico (GORE La Libertad & PECH, 2013). En la cuenca del Santa la precipitación varía entre 700-1,000 mm/año, con una pronunciada época húmeda controlada por humedad transportada de la Amazonía (Drenkhan et al., 2015). Por ello la descarga anual del río presenta una estacionalidad la cual varía entre un promedio de 130 m³/s en la época húmeda a 25 m³/s en la época de estiaje (Drenkhan et al., 2015). Durante la época de estiaje el deshielo glaciar de la Cordillera Blanca (360 km²) genera un aporte crucial en la descarga del Santa.

El caudal del Santa es monitoreado en la estación Condorcerro (447 msnm) antes de su derivación. Para el río Santa se cuenta con una serie histórica extensa cubriendo el periodo 1957-2016, no obstante, la serie presenta vacíos en los años 1970-71-73. La Fig. 5 muestra el caudal histórico del Santa con valores elevados, con un máximo de 1,205 m³/s en el año 1993 y un caudal mínimo registrado de 19 m³/s en el año 1994.

Figura 5: Caudal histórico diario m^3/s (1958-2016) río Santa, estación Condorcero (477 msnm)



Fuente: PECH, 2017. Elaboración propia.

Cuenca del río Chao

La cuenca del río Chao forma parte de las provincias de Virú, Julcán y Santiago de Chuco. El 48% de la extensión de la cuenca del río Chao se encuentra por encima de los 1,500 msnm. La precipitación media anual varía desde pocos milímetros en las costa hasta más de 120 mm en las partes altas (GORE La Libertad & PECH, 2013). El sistema hidrológico del río Chao tiene su origen a una altitud aproximada de 4,050 msnm y se alimenta de las precipitaciones estacionales provenientes de la ladera occidental de la Cordillera de los Andes. Estas precipitaciones dan origen a los ríos Huamanzaña (principal formador), río Chorobal y río Cerro Blanco. La confluencia de estos tres ríos da origen al río Chao (GORE La Libertad & PECH, 2013). El río Chao presenta un régimen irregular con descargas ocasionales y cortas entre los meses de enero-abril, mientras que el resto del año se encuentra prácticamente seco (ONERN, 1973a; GORE La Libertad & PECH, 2013).

Actualmente se cuenta con dos estaciones hidrométricas en la cuenca del río Chao que registran los caudales de los ríos Huamanzaña y Chorobal. En promedio, durante el periodo 2000-2016, el caudal del río Huamanzaña se ha mantenido bajo oscilando entre 0.0 y 18.0 m^3/s aproximadamente. El caudal del río Chorobal presenta una dinámica similar, oscilando entre 0.0 y 12.7 m^3/s . El promedio anual para el caudal de los ríos Huamanzaña y Chorobal es de 0.38 y 0.48 m^3/s , respectivamente.

Cuenca del río Virú

El río Virú cuenta con dos ríos formadores: los ríos Huacapongo y Las Salinas los cuales confluyen cerca al Centro Poblado Tomabal (ONERN, 1973a). El sistema hidrográfico del río Virú tiene su origen en un grupo de pequeñas lagunas (Usgón, Brava y Negra), ubicadas en el Cerro Pelón chico cuyas descargas dan origen al río Huacapongo. Por otro lado, las precipitaciones estacionales en los Cerros Los Colorados y Guitarras dan origen al río Las

Salinas. El 56.5% del área de la cuenca corresponde a la cuenca húmeda, por encima de los 1,500 msnm (GORE La Libertad & PECH, 2013).

La oferta hídrica para el valle Virú proviene de tres fuentes: la escorrentía del río Virú, el agua de filtración y el trasvase del río Santa por el PECH (GORE La Libertad & PECH, 2013). Según el registro de descargas medias anuales a disponibilidad hídrica de la cuenca en la cabecera del valle varía desde 0.2 m³/s hasta 24.1 m³/s con una media anual de 3.4 m³/s (GORE La Libertad & PECH, 2013). A partir del mes de febrero de 1999 se empezó a medir los caudales del río Virú en la sección ubicada a la altura del cruce entre el Sifón Virú y el río (SENAMHI, 2014). El caudal registrado por dicha estación (1999-2016) oscila entre 0.0 y 97.5 m³/s, con un promedio anual de 3.1 m³/s.

Cuenca del río Moche

La cuenca del río Moche es drenada por el río Moche y el 67% de su extensión corresponde a la cuenca húmeda la cual se encuentra ubicada por encima de los 1,500 msnm (ONERN, 1973b). La parte superior de la cuenca presenta, como resultado de la glaciación, lagunas glaciares. Así, el río Moche tiene sus orígenes en la Laguna Grande situada a 4,000 msnm en las cercanías del distrito Quiruvilca (ONERN, 1973b).

En su nacimiento, el río toma el nombre de Grande, adoptando posteriormente los nombres de San Lorenzo y Constancia. A aproximadamente 14 km de su origen, el río toma el nombre de Moche. El escurrimiento superficial del río Moche se debe a la precipitación que cae sobre las laderas de la Cordillera de los Andes (ONERN, 1973b). Los caudales obtenidos para el río Moche se obtuvieron de la estación Quirihuac (a partir de 2004 Puente Fierro), así se cuenta con una serie histórica para el periodo 1950-2016 donde el caudal varía desde 0.00 hasta 200 m³/s con un promedio anual de 8.5 m³/s.

Cuenca del río Chicama

La cuenca del río Chicama presenta una distribución de precipitación que varía de un promedio de 5.5 mm en el litoral a 1,100 mm en la sierra por encima de los 2,800 msnm (GORE La Libertad & PECH, 2013). El río Chicama nace a la altura de las minas Callacuyán con el nombre del río Perejil, nombre que mantiene hasta la localidad de Caina. A partir de dicha localidad el río toma el nombre de Huancay para luego, a partir de El Tambo tomar el nombre Chicama el cual mantiene hasta la desembocadura en el Océano Pacífico (ONERN, 1973c). La desembocadura del río Chicama está situada a 148 km al norte de la desembocadura del río Santa (GORE La Libertad & PECH, 2013). A diferencia de los otros ríos PECH (excepto el río Santa) el río Chicama presenta un caudal anual promedio más elevado de 28 m³/s.

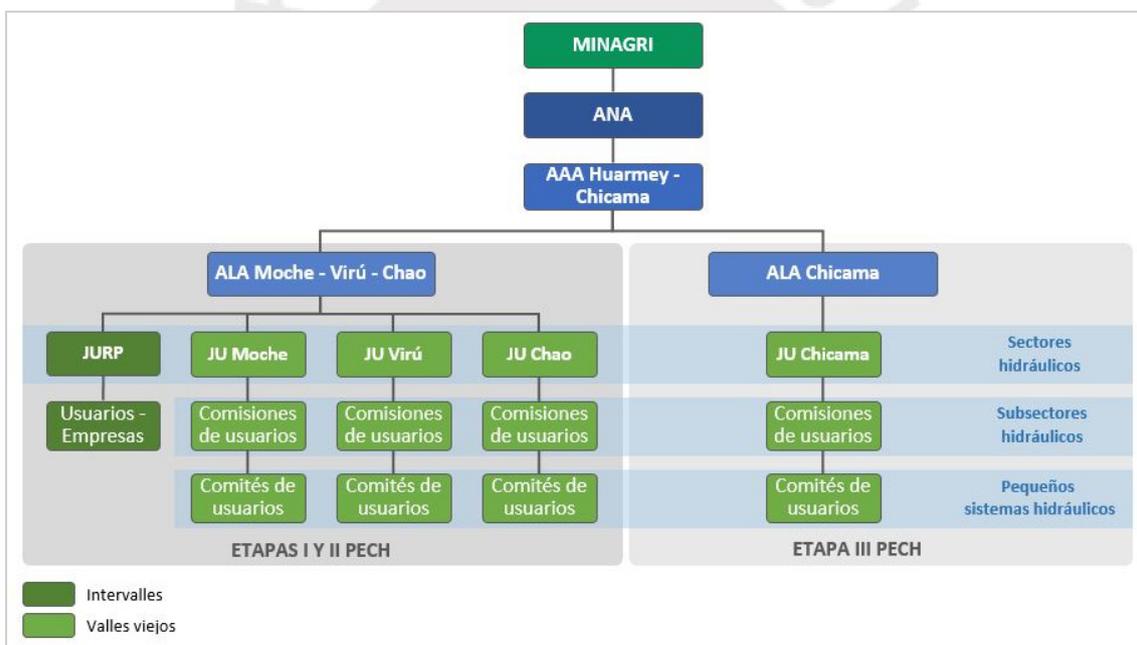
Aspectos socioeconómicos

Actores del ámbito de influencia del PECH

En la actualidad, el Gobierno Regional La Libertad es el encargado del PECH, sin embargo, dada la complejidad del Proyecto existen diversos actores involucrados en su desarrollo. Dado que el agua es el principal motor del Proyecto, es fundamental identificar los actores comprendidos en la gestión de dicho recurso.

La gestión del agua para su aprovechamiento sostenible dentro del ámbito del PECH es compleja y comprende una organización jerárquica y espacial (Fig. 6). Como ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos se encuentra la ANA, órgano adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego (Perú, 2009). El PECH se encuentra así mismo bajo la jurisdicción de la AAA Huarmey-Chicama la cual abarca La Libertad y Áncash. En La Libertad se presentan dos ALAs (Moche-Virú-Chao y Chicama) las cuales gestionan varias juntas de usuarios (JU) las cuales, a su vez, coordinan a comisiones de usuarios y éstos a comités de usuarios.

Figura 6: Organigrama de gestión de uso de agua agrícola del PECH



Nota. Adaptado de "Apropiarse del desierto Agricultura globalizada y dinámicas socioambientales en la costa peruana", de Marshall, A., 2014, p. 105, Lima, Perú: IFEA.

JURP: Junta de Usuarios de Riego Presurizado

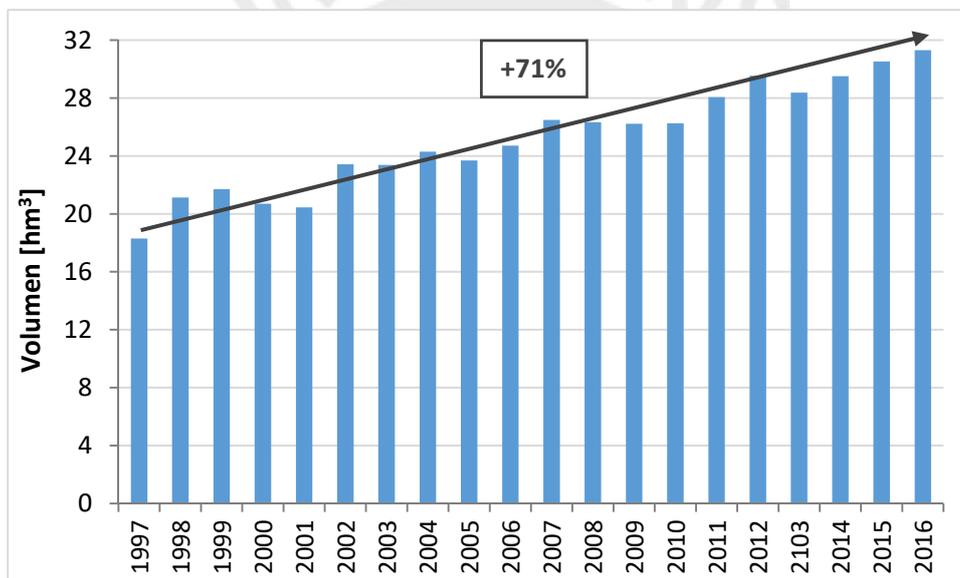
En primer lugar, para las Etapas I y II del PECH, la autoridad responsable del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos es la ALA Moche-Virú-Chao (GORE La Libertad & PECH, 2013). Esta coordina con las organizaciones de usuarios de nivel más alto que son cuatro JUs, tres de ellas para el ámbito de los valles viejos y la junta de usuarios de riego presurizado de los distritos de Chao-Virú-Moche (JURP), para los intervalles. Las JUs se organizan sobre la base de un sector hidráulico común y por ende se encargan de la operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica, la distribución del agua y cobro de tarifas de agua (Perú, 2009). En un nivel jerárquico intermedio se encuentran las comisiones de usuarios las cuales

se conforman en torno a un subsector hidráulico. Finalmente, en el nivel más bajo se encuentra los usuarios de agua que conforman los comités de usuarios los cuales se organizan en relación a sistemas hidráulicos de menor jerarquía (DGIAR-MINAGRI, 2015). En segundo lugar, para la futura Etapa III, la autoridad responsable es la ALA Chicama, junto con su JU, comisiones y comités de usuarios.

SEDALIB

La planta de tratamiento de agua potable del PECH capta agua cruda del Canal Madre y la trata para abastecer al 70% de la población de Trujillo (aproximadamente 700,000 habitantes) y distritos aledaños con agua potable (PECH, 2016). La Empresa Prestadora de Servicio SEDALIB es la encargada de comprar el agua potable tratada en el PECH y de distribuirla para la ciudad de Trujillo (GORE La Libertad & PECH, 2013). En el periodo 1997-2016 la producción de agua potable se ha casi duplicado, alcanzando 31.3 hm³ (Fig. 7). En el mismo periodo, la captación anual promedio de agua del Canal Madre ha pasado de 0.64 m³/s a 1.09 m³/s.

Figura 7: Producción de agua potable planta de tratamiento (1997-2016)



Fuente: PECH, 2016. Elaboración Propia.

Empresas Agroindustriales del PECH

El PECH, a través de la construcción de obras hidráulicas ha ampliado la frontera agrícola en la costa de La Libertad. Así, se han transformado las tierras eriazas de los intervalles en zonas de producción agrícola intensiva. Estas tierras han sido dinamizadas por las empresas agroindustriales ya que generan productos destinados a la exportación internacional (GORE La Libertad & PECH, 2013). Dichos cultivos son no tradicionales en su mayoría y de uso intensivo del agua. Según Marshall (2014) los agroexportadores y agroindustriales son personas jurídicas que se dedican a la producción y/o exportación de productos agrícolas. Estas empresas cuentan con grandes lotes, ocupando los intervalles y exportan bienes agrícolas. No se exportan únicamente las materias primas, sino también productos agroindustriales. En la actualidad en el PECH hay diversos fundos agrícolas los cuales pertenecen, en su mayoría, a 18 grandes empresas (Inga Durango, 2016).

Agricultores Familiares del PECH

Si bien por las obras del PECH la región La Libertad ha sido sujeta a un importante desarrollo económico-productivo principalmente debido a la instalación de empresas agroindustriales y exportadoras; en los valles viejos se ha ejercido históricamente la agricultura familiar o de subsistencia (Marshall, 2014). Desde la década de los 70, con los estudios realizados por la ONERN (1973) se identifica un desarrollo importante de la agricultura familiar en los valles de los ríos Chao, Virú, Moche y Chicama. Dicha agricultura a pequeña escala era condicionada a la avenida de los ríos, al afloramiento de las infiltraciones de las cuencas altas y al uso de agua subterránea. Sin embargo, a partir de la construcción del Canal Madre, el área de los valles viejos dentro del ámbito de influencia del PECH recibe adicionalmente agua regulada del Santa.

En ese sentido, es importante diferenciar a los pequeños agricultores en los valles viejos, por un lado, se encuentran aquellos en los valles bajos y medios los cuales reciben agua del Canal Madre y, por otro lado, los de la cuencas altas cuya actividad agrícola depende solamente de la precipitación estacional.

Chinecas

El Proyecto Especial Chinecas es un proyecto de irrigación el cual deriva aguas del río Santa. Se emplaza en la margen izquierda del río Santa y comenzó sus obras luego de la década de 1980. El proyecto busca irrigar aproximadamente 30,000 hectáreas de tierras de cultivo en la región Áncash en los valles de Santa, Nepeña y Casma y de ese modo ampliar la frontera agrícola (Bury et al., 2013). Sin embargo, previo al desarrollo de Chinecas, existía el Proyecto Especial Río Santa el cual fue impulsado desde 1949 por la Corporación del Santa. El proyecto contemplaba la construcción de una sola bocatoma en Tablones para derivar el agua del Santa e irrigar los valles de Chao y Virú en La Libertad y de Nepeña y Casma en Áncash (Marquezado, 2010). No obstante, en 1985 en el Gobierno de Alan García, se canceló dicho proyecto y se crearon dos proyectos diferenciados: Chavimochic y Chinecas (Marquezado, 2010).

Desde la creación del PECH se han generado tensiones con Chinecas visto que el primero tiene mayor prioridad en el uso de agua y propone la irrigación de una extensión de tierras mucho más significativa que Chinecas (>100,000 ha). Además, se han generado conflictos entre los dos proyectos visto que ambos derivan el agua del río Santa y la bocatoma principal de Chavimochic se encuentra 180 m de altura por encima de las dos bocatomas de Chinecas (Lynch, 2013).

Pequeños agricultores de la cuenca alta y baja del Santa

La derivación del agua del Santa para su uso intensivo en campos agrícolas genera una serie de conflictos sociales. De ahí surge el concepto del ciclo hidro-social del agua (Carey et al., 2014). Una cuenca debe ser comprendida como un continuum, con alta conectividad entre lo que toma lugar aguas arriba y aguas abajo (Bernex & Tejada, 2010). Las competencias de los recursos hídricos aguas arriba y abajo del río Santa pueden agravarse con la disminución en su caudal. Mientras que las grandes empresas del PECH cuentan con una asignación de agua fija, a los pequeños agricultores tradicionales con cultivos en secano de la cuenca alta

se les asigna en función a la disponibilidad del recurso (Lynch, 2012). Esta situación genera grandes contrastes en los derechos de uso de agua donde se prioriza el uso de agua productivo ante el primario o poblacional. Por ello se deben tomar a los pequeños agricultores de la cuenca alta del Santa dentro del mosaico de actores que convergen dentro del manejo de agua del río Santa.

Población del ámbito de influencia del PECH

El área de influencia del proyecto corresponde a las provincias de Trujillo, Virú y Ascope de las cuales, al culminar el proyecto, se beneficiaría un total de 231,000 familias (GORE La Libertad & PECH, 2014). El proyecto es de carácter multidimensional de modo que ha ampliado la frontera agrícola y también provisto servicios básicos a la población local. Entre esos servicios se encuentran la generación de energía a través de tres centrales hidroeléctricas y el abastecimiento de agua potable. La dimensión y complejidad del PECH debe ser entendida dentro del ámbito socioeconómico visto que es un proyecto público-privado con repercusiones para la población de la región. En términos demográficos, el último censo poblacional realizado por el INEI fue en el año 2007; sin embargo, se cuentan con proyecciones a la actualidad. Como se puede observar en la Tab. 4 las provincias donde se sitúa el PECH tienen una proyección de crecimiento poblacional significativo.

Tabla 4: Población de las provincias del PECH

Provincias	Superficie [km ²]	Población 2007	Población 2016	Crecimiento poblacional [%]	IDH
Ascope	2,655.75	116,229	120,311	3.5	0.49
Trujillo	1,768.65	811,979	957,010	17.9	0.57
Virú	2,655.75	76,710	117,088	52.6	0.39

Fuente: INEI (2017b). Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo, Según Departamento, Provincia y Distrito.

El Índice de Desarrollo Humano (IDH) de La Libertad al año 2012 fue de 0.46, situándose en el octavo puesto a nivel nacional. De las tres provincias del ámbito de influencia del proyecto, la provincia de Trujillo cuenta con el IDH más elevado con 0.57 ubicándose por encima del promedio nacional (0.50). Las provincias de Ascope y Virú se encuentran ambas por debajo del promedio nacional con un IDH de 0.49 y 0.39, respectivamente (Vera, 2014). La esperanza de vida al nacer para las tres provincias sigue el mismo patrón que el IDH. Trujillo al año 2012 contaba con una esperanza de vida de 77.30 años, Ascope de 75.74 años y Virú de 75.52, encontrándose las tres por encima del promedio nacional de 74.31 años (Vera, 2014).

En relación al Índice de Competitividad Regional (INCORE), La Libertad ha avanzado en su posición a nivel nacional. En el periodo 2014-2016 aumentó su puntaje en 0.2 puntos alcanzando 4.9 (máximo de 10), ubicándose en el noveno puesto a nivel nacional (IPE, 2016). Dentro de los diferentes pilares del INCORE la región cuenta con el puntaje más alto en infraestructura seguido por salud; el valor más bajo corresponde al entorno económico (IPE, 2016).

Actividades económicas de la región

Sector Agropecuario

Según cifras del INEI (2016) con un aporte de 4.0% al Valor Agregado Bruto (VAB) nacional, La Libertad es la cuarta economía regional del Perú. De las diferentes actividades económicas, el sector agropecuario es el segundo mayor contribuyente al VAB de la región (BCRP, 2013). Del total de la superficie agropecuaria el 50.01% (528,764 ha) es agrícola, posicionándose como la segunda región del Perú con mayor área agrícola. Además, el 51.7% de esta se encuentra bajo riego y el 48.3% restante bajo secano (INEI, 2013).

Subsector Agrícola

La actividad agrícola es la principal generadora de ingresos para La Libertad. A nivel nacional, La Libertad se posiciona como el principal contribuyente al valor bruto de la producción agrícola seguido por Lima e Ica con un aporte promedio de 10.5% (MINAGRI-SIEA, 2016). En el periodo 2001-2011 la producción agrícola registró un crecimiento promedio de 6.1%, superior al 4.3% nacional (BCRP, 2013). Dicho crecimiento ha sido principalmente posible por la infraestructura hidráulica mayor del PECH y por la conectividad vial la cual ha permitido una mayor articulación y acceso a los principales mercados y puertos (BCRP, 2013).

El desarrollo del PECH (Fig. 8) ha generado cambios sustanciales en la economía de la región. Esta se posiciona como el principal productor de cultivos tradicionales destinados al mercado interno como la caña de azúcar, tarhui, trigo, cebada, maíz amarillo. Asimismo, es el principal productor de cultivos no tradicionales con altos requerimientos hídricos destinados al mercado externo como el espárrago y palto (BCRP, 2016). Entre 1995-2008, la contribución del PECH a las exportaciones no tradicionales incrementó de 6.83% a 19.17% (Mostacero, 2013). Es así como en los últimos años la producción se ha diversificado a favor de los productos agroindustriales. En el periodo 1995-2012 las exportaciones agroindustriales incrementaron de US\$ 12,707 a US\$ 437.39 millones, correspondiente a catorce empresas agroexportadoras (Mostacero, 2013).

Figura 8: Vista del PECH: Canal Madre y áreas cultivadas Virú (intervalles)



Foto propia (febrero, 2017).

1.7. Estado de la Cuestión

Frente al cambio climático emerge un interés por la creciente demanda hídrica, especialmente en relación a cambios en la disponibilidad de agua (FAO, 2013). Tal es el caso de la costa peruana y en especial del PECH cuya creciente demanda hídrica agrícola involucra a diversos actores más allá de su ámbito físico de influencia. A raíz del desarrollo del PECH y su interdependencia con la cuenca del Santa se evidencian problemas de asignación y traslado de agua al igual que el potencial de conflictos hidro-sociales entre usos y usuarios de agua. Surge así un énfasis en el enfoque integrado del agua incluyendo aspectos físico-naturales y sociales al igual que una gestión de la demanda hídrica (WMO, 2001; Bury et al., 2013; Carey et al., 2014).

El vínculo entre el cambio climático y los recursos hídricos ha sido investigado en los Andes Tropicales y en la Cordillera Blanca, siendo la temperatura y la precipitación las variables climáticas mejor estudiadas (Mark et al., 2010; Baraer et al., 2012; Bury et al., 2013). Las tendencias de precipitación en esta región presentan incertidumbres; sin embargo, se ha registrado un aumento de esta al norte del Perú (entre 5° y 11°S) entre 1950-1994 (Vuille et al., 2003) y en la Cordillera Blanca luego de la década de 1990 (Schauwecker et al., 2014). Por otro lado, se encuentra la temperatura superficial, factor determinante en la dinámica glaciar al influir en la ablación. Bradley et al. (2006) identifican tendencias de calentamiento; no obstante, recientemente se ha registrado una “pausa” en el calentamiento en la costa, y una desaceleración en las zonas altoandinas (Vuille et al., 2015). En los Andes Tropicales hay un consenso sobre el retroceso glaciar en las últimas décadas (Rabatel et al., 2013). Entre 1970-2012, los glaciares de la Cordillera Blanca han disminuido en un 34% lo cual corresponde a una tasa promedio anual de pérdida de 0.81% (Cochachín, comunicación personal, 2016).

Estudios en la Cordillera Blanca demuestran una relación entre el cambio climático e impactos en la hidrología del Santa (Mark et al., 2010; Baraer et al., 2012; Bury et al., 2013). Baraer et al. (2012) exponen cómo la transición de cuencas glaciares a no-glaciares genera cambios en la hidrología (caudal promedio, de estiaje y en el coeficiente de variación). En las etapas tempranas de retroceso glaciar, se espera un ligero aumento en los caudales de estiaje y promedio debido al deshielo. Al incrementar el retroceso glaciar aumenta el deshielo y, con ello, el caudal promedio y mínimo hasta llegar a su máximo nivel “peak water”. Al reducir significativamente el área glaciar también los hace el aporte de deshielo, disminuyendo el caudal promedio y en especial el de estiaje. Así, incrementa el coeficiente de variación dado que el caudal dependerá en mayor cantidad de aguas subterráneas y precipitación, con una marcada estacionalidad (Chevallier et al., 2011; Baraer et al., 2015). A través de esas fases, los glaciares pierden su capacidad de regulación hídrica la cual es crucial para mantener una escurrentía mínima constante anual para sectores productivos.

El caudal promedio anual del Santa cuenta con una contribución entre 10-20% de deshielo glaciar (Bury et al., 2013). Durante la época de estiaje, podría sobrepasar el 40% e inclusive alcanzar el 66% en la cuenca media (Mark et al., 2010; Condom et al., 2012). Sin embargo, el retroceso glaciar en la Cordillera Blanca ha conllevado a una disminución en el deshielo y con ello en la regulación hídrica de los glaciares. Estudios en las estaciones La Recreta y La Balsa (cuenca alta y media del Santa) evidencian cambios en la hidrología del río donde se ha

sobrepasado el “peak water” y la disminución en el caudal es probablemente irreversible (Baraer et al., 2012). Se prevé que una vez que los glaciares desaparezcan el caudal de estiaje en La Balsa disminuirá hasta 70% de los valores actuales con consecuencias significativas en las dinámicas ambientales y socioeconómicas (Baraer et al., 2012).

Los recursos hídricos son claves para el desarrollo de las sociedades. En el Perú, los usos de agua implican prácticas ineficientes que se suman a la disparidad espacio-temporal del recurso (PNUD, 2009). Los cambios registrados en la hidrología de los Andes como en el Santa, significan impactos socioeconómicos para los sectores productivos de uso de agua. A la mayor variabilidad de los ríos se suman crecientes demandas hídricas con una mayor presión sobre los recursos hídricos, vulnerabilidad y competencia entre dichos sectores productivos (Lynch, 2012). En el sector agrícola, cambios en la oferta hídrica tendría efectos tanto para los pequeños agricultores como para los proyectos de irrigación en la costa. Por otro lado, los cambios hidrológicos afectarían al sector hidroenergético con una posible disminución en su producción como en la hidroeléctrica Cañón del Pato (Condom et al., 2012). Es así como el cambio climático y retroceso glaciar se vinculan con la dimensión socioeconómica y el potencial de conflictos hidro-sociales.

Las cuencas son espacios complejos que proporcionan servicios ecosistémicos y potencialidades productivas que requieren un manejo racional (PNUD, 2009). Sin embargo, en su importancia productiva surgen conflictos por el uso del agua tal como en la cuenca del Santa. Los sectores y usuarios de agua han obstaculizado un manejo equitativo del recurso, presentándose conflictos hídricos que, en esencia, son conflictos sociales por el acceso y creciente demanda hídrica (Drenkhan et al., 2015). Frente al cambio climático, se prevé un aumento en la frecuencia y gravedad de los conflictos hidro-sociales lo que genera un interés en un enfoque integrado en el estudio de las cuencas (Carey et al., 2012; Bury et al., 2013; Boelens, 2014). Lynch (2012) realiza la dimensión social en el uso y acceso de agua del Santa, especialmente las competencias entre los irrigadores de las partes altas y bajas de la cuenca y los proyectos de irrigación. Además, Carey et al. (2014) enfatizan la necesidad de generar modelamientos hidrológicos que incluyan variables sociales y trayectorias futuras de demanda hídrica.

Tradicionalmente la árida costa peruana ha sido acondicionada para el desarrollo de la actividad agrícola. Desde la Reforma Agraria (1970) ésta ha sido designada para la agroexportación de cultivos exigentes en agua y se han priorizado proyectos de irrigación bajo la noción de que la modernización en la agricultura nacional implicaba desarrollar la costa (PNUD, 2009; Marshall, 2014). Dicho desarrollo agrícola ha permitido, por un lado, el crecimiento económico de las regiones avocadas a la agroexportación. Por otro lado, se ha generado una creciente demanda hídrica y una mayor presión sobre los recursos hídricos regionales. Dichos problemas surgen debido a políticas nacionales que han carecido de un enfoque de cuencas y no han considerado que los valles costeros forman parte de cuencas de origen altoandino (PNUD, 2009). Más aún, ha faltado una visión sobre los impactos del cambio climático en la disponibilidad hídrica.

Los cambios observados en la hidrología regional como el Santa advierten una problemática sobre el uso actual y futuro del agua, especialmente por proyectos como el PECH cuya

creciente demanda hídrica probablemente no podrá ser satisfecha por la futura oferta del Santa (Vuille et al., 2008; Chevallier et al., 2011). Ello presenta un desafío para el PECH cuya futura área bajo riego implica un aumento de más de 130,000 ha en relación al año 1958 (Bury et al., 2013). Dicho desafío se ha manifestado en el registro sin precedentes de niveles bajos de volumen del Canal Madre que en la época de estiaje del año 2010 alcanzó 35 m³ cuando su capacidad máxima es de 80 m³ (CEPES, 2010). La problemática se agudiza con la construcción de la Presa Palo Redondo (366 hm³) para regular la oferta hídrica en la época de estiaje – cuya construcción se encuentra avanzada hasta un 70% (Jefe división Medio Ambiente del PECH, Comunicación personal).

Existen investigaciones sobre la hidrología del Santa; sin embargo, hay una carencia de estudios en las cuencas del PECH. El estudio de Jensen et al. (2015) demuestra que bajo proyecciones de cambio climático (2030-2039) habría un aumento del 15% en el caudal del río Santa durante la época de estiaje lo cual no afectaría la agricultura del PECH. Sin embargo, los resultados presentan una temporalidad corta, es decir, queda por evaluar los impactos en el caudal luego de sobrepasar el “peak water”.

Entre las investigaciones del PECH, predomina el estudio de la cuenca del río Moche (MINAGRI - ANA, 2010; Paredes & Guerrero, 2013; Jensen et al., 2015). Por un lado, se evalúa el balance hídrico agrícola de la cuenca baja y media (Paredes & Guerrero, 2013) y, por otro, del valle (MINAGRI - ANA, 2010). Se utilizaron dos métodos para calcular la demanda hídrica agrícola. Por un lado, se utilizaron datos estandarizados de demanda hídrica por cultivo. Por otro lado, se empleó coeficientes de riego y el cálculo de la ET_o mediante la ecuación Penman-Monteith. Ambos estudios demuestran un balance hídrico equilibrado; no obstante, se identifica un uso ineficiente del agua debido a la siembra de cultivos con alta demanda hídrica (Paredes & Guerrero, 2013). A ello se suman problemas en la asignación de agua entre usuarios de riego y pérdidas en el sistema de distribución (MINAGRI - ANA, 2010). Además, el estudio de Jensen et al. (2015) demuestra la sensibilidad del río Moche ante cambios en el clima, la cual se extiende hacia los ríos Virú y Chao.

Actualmente existen dos estudios del balance oferta-demanda hídrica del PECH. En primer lugar, se calculó la demanda hídrica anual máxima esperada para el año 2013 (ProInversión, 2013). Para ello se calculó la demanda de los valles viejos e intervalles con la culminación del proyecto (Etapas I, II y III). Además, se calculó la demanda de agua potable de Trujillo y de las tres Centrales Hidroeléctricas del PECH (Virú, Tanguche y Desarenador). La demanda anual máxima calculada fue de 1,543 hm³. En contraste, el estudio realizado por Gaita (2013) realizó el mismo balance considerando además la construcción de Palo Redondo. Se calculó una demanda hídrica proyectada (con la Etapa III) total de 1,473 hm³ bajo una situación “optimizada” y se planteó que Palo Redondo permitiría cubrir el déficit hídrico de 360 hm³ calculado durante la época de estiaje.

Si bien se ha realizado una evaluación de la demanda hídrica del PECH, no ha habido un énfasis en la demanda hídrica del sector agrícola. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha desarrollado el software CROPWAT que permite calcular la demanda hídrica agrícola de manera efectiva con data *in situ*. Estudios (Yarahmadi, 2003; Surendran et al., 2015; Tibebe & Zemadim, 2015) han empleado

CROPWAT para evaluar el balance hídrico en zonas irrigadas. Más aún, estudios como el de Al-Najar (2011) se apoyan en CROPWAT junto con los SIG para identificar áreas cultivadas y su demanda hídrica. En adición al cálculo de la demanda hídrica se encuentra el cálculo de la oferta hídrica. Para ello, el modelamiento hidrológico se presenta como una herramienta poderosa a fin de simular los procesos de lluvia-escorrentía en cuencas hidrográficas. Más aún software de modelamiento hidrológico como RS MINERVE, desarrollado por el Centro de Investigación del Medio Alpino (CREALP), permite modelar exitosamente cuencas integrando la oferta y demanda hídrica (Astorayme et al., 2015; Chuquín, 2016).

La evaluación de la demanda hídrica de proyectos de irrigación permitirá avanzar hacia una gestión sostenible de los recursos hídricos; sin embargo, esta no será posible sin un ambiente normativo propicio. La nueva estructura institucional nacional del agua compuesta por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Autoridades Administrativas del Agua (AAA), Autoridades Locales del Agua (ALA) y los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CRHC) debía impulsar una gestión y aprovechamiento sostenible e integrado de los recursos hídricos. No obstante, han surgido desafíos para el cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos (LRH) y el establecimiento de los CRHC como en la cuenca del Santa cuyo consejo no se ha establecido debido a la tensión entre La Libertad y Áncash (Lynch, 2012).

El análisis de la bibliografía disponible sobre la situación actual de los recursos hídricos y la demanda hídrica del PECH muestra la necesidad de contar con una visión sobre la futura demanda hídrica, su relación con el cambio climático y retroceso glaciar para asegurar una seguridad hídrica (Condom et al., 2012; GWP, 2012; Seeman, 2015). Entre los principales vacíos, se encuentra la carencia de un enfoque de cuencas que integre variables sociales y la relación cuenca alta-baja. Además, no hay suficientes estudios de la hidrología del PECH al igual que un estudio específico del sector agrícola. Por otro lado, en el país se cuenta con un débil aparato institucional y legislativo para la GIRH. Sobre la base de los vacíos y desafíos, se deberá ahondar en la evaluación de las cuencas del PECH, la estacionalidad de la demanda hídrica agrícola y la oferta hídrica. Para ello será fundamental el apoyo en instrumentos que posibiliten un balance actual y futuro bajo escenarios de cambio global (Carey et al., 2014; Jensen et al., 2015).

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Oferta y demanda hídrica

La oferta hídrica es dinámica, fluctúa temporal y espacialmente y solo una parte de ella es accesible para el uso humano. Además, es susceptible frente a las condiciones geomorfológicas, climáticas y antrópicas (FAO, 2013). La acción del hombre, especialmente en las últimas décadas, ha generado mayores presiones directa o indirectamente sobre la oferta hídrica. Actualmente, dentro del marco de cambio climático y retroceso glaciar, la oferta hídrica en zonas que dependen del aporte glaciar se ve vulnerable. Como plantean Viviroli et al. (2011) la importancia de los recursos hídricos de los ecosistemas alto-andinos se expande más allá de la escala local visto que la escorrentía provee oferta de agua para áreas adyacentes a menudo más áridas.

Según la ANA & MINAGRI (2013a) la oferta hídrica es un sinónimo de disponibilidad de recursos hídricos con sus componentes y distribución. Los componentes básicos de la oferta de agua son los recursos convencionales (superficiales y subterráneos) y los recursos adicionales como los trasvases, el reúso de aguas servidas tratadas, la desalinización y el ahorro de agua (ANA & MINAGRI, 2013a). Según el origen territorial de los recursos hídricos, la oferta hídrica puede pertenecer a una cuenca hidrográfica o ser el resultado de la transferencia de otras cuencas (ANA & MINAGRI, 2013a). Cuando se hace mención a la oferta hídrica se relaciona con la demanda hídrica, pues ambas son indivisibles.

Al discutir temas relacionados al manejo sostenible de los recursos hídricos se usan los términos uso, extracción, consumo, demanda de agua sin esclarecer la diferencia entre cada uno (Kohli et al., 2010). Esto presenta un grave problema para las investigaciones visto que no se cuenta con un marco conceptual claro ni un consenso sobre los términos a emplear. La ANA & MINAGRI (2013a) definen la demanda hídrica como la cantidad de agua necesaria o requerimiento bruto del recurso para satisfacer uno o varios usos multisectoriales, considerando las ineficiencias en la distribución y uso. La GWP (2012) añade a dicha definición que la demanda hídrica no incorpora el agua verde (precipitación) y el agua virtual. En su carácter multisectorial, la demanda hídrica puede ser poblacional, agrícola, industrial y para otros usos (minero, pecuario, recreativo y turístico). La presente investigación se centra en la demanda hídrica agrícola, la cual representa casi el 90% de la demanda consuntiva total y se encuentra relacionada con factores como superficie de riego, tipo de cultivo y eficiencia de riego (ANA & MINAGRI, 2013a).

Dentro del contexto de escasez hídrica y cambio climático global surge un giro en el paradigma tradicional de gestión de la oferta hacia la gestión de la demanda hídrica (WMO, 2001). Previamente el enfoque del manejo de los recursos hídricos se había centrado en aumentar el suministro de agua para satisfacer una mayor demanda hídrica. Sin embargo, en el marco actual, la gestión de la demanda hídrica plantea la posibilidad de incentivar un mejor uso del agua en vez de aumentar la oferta. Así, a partir de un conjunto de intervenciones y sistemas organizativos la gestión de la demanda hídrica permitirá aumentar las eficiencias técnicas, sociales, económicas, ambientales e institucionales hacia un manejo sostenible de los recursos hídricos (GWP, 2012).

En estrecha relación con la demanda hídrica se encuentran los usos del agua. Según la FAO (Kohli et al., 2010) el uso de agua es un término general que describe cualquier acción a través de la cual el agua provee un servicio. Los usos de agua pertinentes a la investigación son los consuntivos, "in-stream" y "off-stream" (Kohli et al., 2010).

En primer lugar, los usos consuntivos afectan la cantidad y temporalidad de la disponibilidad hídrica, al igual que su calidad (Aylward, 2013). Es así, como el uso consuntivo del agua implica una reducción en la cantidad de agua que retorna al sistema (Kohli et al., 2010). La agricultura se presenta como una de las actividades principales de consumo y extracción de agua. Sin embargo, es importante resaltar que el agua consumida por el sector agrícola no desaparece del ciclo del agua, sino del ciclo terrestre para luego reincorporarse al sistema (Aylward, 2013). En segundo lugar, el agua puede ser clasificada en función a la ubicación de su uso. Los usos del agua pueden ser "in-stream", si es que el agua es utilizada in situ desde los cuerpos de agua u "off-stream", cuando hay una extracción o derivación del agua hacia donde es necesitada (Kohli et al., 2010). En la presente investigación el principal uso de agua es "off-stream" visto que el agua del Santa es derivada para abastecer la mayor extensión de cultivos. No obstante, también se utiliza el agua "in-stream" en el caso de la agricultura desarrollada en los valles.

2.2. Agua Virtual

El concepto de agua virtual fue introducido por Tony Allan a principios de la década de los noventa (Chapagain & Hoekstra, 2003). Esta es el agua "incorporada" en la producción de un producto, no en el sentido real, sino virtualmente (Viviroli et al., 2011). Inherentemente al concepto se encuentra el comercio de agua virtual dado que a través de la exportación de bienes agrícolas el agua fluye virtualmente. Se plantea que la importación neta de agua virtual de países con abundancia hídrica hacia países con déficit hídrico podría aliviar la presión en los recursos hídricos (Allan, 1998; Chapagain & Hoekstra, 2003). Así paralelamente surge el concepto de "agua exógena" donde la importación de agua virtual significa el uso de agua exógena al país importador (Chapagain & Hoekstra, 2003).

El concepto de agua virtual se presenta como un medio para un manejo adecuado de los recursos hídricos; sin embargo, se ha incrementado el comercio internacional de bienes agrícolas debido a acuerdos de libre comercio (Boelens & Vos, 2012). Es así como lo que se presumía como una herramienta para combatir la escasez hídrica, en la actualidad es la prueba de las ineficiencias en la distribución y manejo del agua. Se genera el escenario opuesto en países como Perú, India, Australia, Tanzania que si bien presentan escasez hídrica son exportadores netos de agua virtual. Por el contrario, países con alta disponibilidad de agua como Suiza y el Reino Unido importan agua virtual (Boelens & Vos, 2012). Si bien el agua virtual no forma parte de la demanda hídrica, el concepto en sí es pertinente para la investigación, dado que la exportación de bienes agrícolas del PECH de uso intensivo de agua podría acentuar la escasez hídrica de la costa peruana.

2.3. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) y Seguridad Hídrica

La GIRH es definida por la Global Water Partnership (GWP) (2000) como *“un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.”*

El enfoque integrado reconoce los diferentes grupos de interés que compiten entre sí y los sectores que usan el agua. Así se coordina la gestión de los recursos hídricos de manera transversal y transectorial desde la escala local a la internacional (Pochat, 2008). La GIRH implica una mayor coordinación en el desarrollo y gestión de aguas superficiales y subterráneas, cuencas fluviales y ecosistemas marino-costeros, e intereses aguas arriba y aguas abajo. Un aspecto clave de la GIRH es que no solo se enfoca en los aspectos físicos, sino busca tener incidencia a nivel social para que los beneficios de la gestión de los recursos reviertan equitativamente en ella (Pochat, 2008). Para lograr una gestión integrada del recurso y alcanzar el desarrollo ambiental y humano sostenible es necesaria la participación activa de la población incluyendo los sectores gubernamentales públicos, sector privado y la sociedad civil.

Como plantean (Bernex & Tejada, 2010) la GIRH cuenta con un enfoque sistémico incluyendo tanto el sistema natural como el humano. Dicho enfoque permite la conciliación de los diferentes intereses y la solución de conflictos tomando en consideración la variabilidad espacial y temporal del agua. Parte elemental de la GIRH como instrumento eficaz de gestión y de desarrollo sostenible es un ambiente propicio que permita la gestión integrada. Ello incluye un marco legal, presencia institucional y gobernanza (Bernex & Tejada, 2010).

En la última década el concepto de seguridad hídrica ha sido tema de discusión en estudios académicos de diversas disciplinas. La seguridad hídrica ha sido objeto de investigaciones tanto como la GIRH e inevitablemente ambos conceptos presentan convergencias (Bakker & Morinville, 2013). El uso multidisciplinario del concepto de seguridad hídrica lo ha dotado de varios significados según su ámbito de aplicación. Es así como el concepto no es estático, sino se encuentra en un proceso constante de evolución (Cook & Bakker, 2012). Para la presente investigación se comprende a la seguridad hídrica como la disponibilidad de una cantidad y calidad aceptable de agua para la salud, medios de vida, ecosistemas y producción; junto con un nivel aceptable de riesgos hídricos para las personas, ambientes y economías (Grey & Sadoff, 2007; Bakker & Morinville, 2013). Así, la seguridad hídrica plantea la necesidad de anticipar y responder ante riesgos además de umbrales más allá de los cuales se generaría ‘inseguridad hídrica’ (Bakker & Morinville, 2013).

En el marco actual, el cambio climático global se presenta como una amenaza ante la disponibilidad de agua con cambios en los regímenes hidrológicos (Grey & Sadoff, 2007). El cambio climático genera un contexto en el que se vuelve más difícil alcanzar una seguridad hídrica, especialmente en países con escasa gobernanza de agua e institucionalidad que medien el uso y acceso equitativo del recurso al igual que su conservación. Los desafíos e incertidumbres del cambio climático en el área de estudio junto con los diversos actores e intereses en el manejo y uso de agua del Santa, exigen un manejo sostenible e integrado de los recursos hídricos. Es por ello necesario comprender la dimensión social de la seguridad

hídrica donde ésta no depende solo de la disponibilidad del agua, sino también de relaciones de poder, instituciones e inequidad en la distribución y acceso al agua. La seguridad hídrica se debe alcanzar en conjunto con un uso equitativo y eficiente del recurso, hidrosolidaridad y justicia social (Seeman, 2015).

2.4. Normatividad e Institucionalidad hídrica en el Perú

Hasta inicios del presente siglo la gestión del agua en el Perú involucraba diversos organismos como la Intendencia de Recursos Hídricos, Ministerio de Salud, Vivienda entre otros. Ello conllevó a una gestión fragmentada, desarticulada y con superposición de competencias (Oré & Geng, 2015). A partir del año 2008, con la creación del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH) y la ANA, se genera un cambio en la institucionalización, normatividad y gestión del agua nacional (Oré & Geng, 2015).

Actualmente, la legislación nacional del agua es precedida por la Ley de Recursos Hídricos (LRH) N° 29338 (2009). Esta derogó la Ley General de Aguas (1969) y fue promulgada luego de veinte años de debates y conflictos por el agua (Drenkhan et al., 2015). Se debe enfatizar la importancia de la Ley General de Aguas la cual, al derogar el Código de Aguas de 1902, eliminó el carácter privatista sobre el recurso. Es así como se consagró al agua como propiedad del Estado (Ortiz, 2016). Ello se mantiene con la actual LRH la cual ratifica que el agua constituye un patrimonio de la nación (Oré & Rap, 2009).

En la creación de la ley se encuentran los cuatro principios rectores de la declaración de Dublín (1992) sobre el agua y el desarrollo sostenible. Además, la ley aplica transversalmente el enfoque de la GIRH a escala de cuenca. Para ello se dictaminó el establecimiento de una nueva arquitectura institucional donde la ANA promovería la constitución de CRHC y sumarían las AAA's y ALA's (Oré & Geng, 2015). La creación de las tres autoridades: ANA, AAA's y ALA's a escala nacional, regional y local; respectivamente, se presenta como un avance hacia la descentralización política e institucional. Además, se adhiere al proceso de regionalización (2002) ya que dotaría de mayores facultades a los gobiernos regionales y locales (Drenkhan et al., 2015). Por otro lado, los CRHC serían establecidos para asegurar una planificación de la gestión del agua en las cuencas. Asimismo, dicha planificación tendría una participación activa de usuarios, gobiernos regionales, locales y sociedad civil a fin de asegurar un aprovechamiento sostenible (Perú, 2009; Oré & Rap, 2009).

La LRH reconoce los derechos de agua de las comunidades campesinas y nativas. Además, hace un énfasis en el uso prioritario del agua para satisfacer las necesidades primarias de las personas como derecho fundamental. Asimismo, considera la dimensión cultural y ancestral en el uso y valoración del agua. Si bien la Ley sienta las bases para la GIRH su implementación se encuentra aún en proceso. Además, las autoridades tienen una capacidad limitada de toma de decisiones y sus esfuerzos hacia la gestión sostenible de los recursos hídricos se han visto afectados por presiones de sectores con poder (Drenkhan et al., 2015). En la implementación de la LRH se han presentado dificultades, especialmente en la creación de los CRHC. En la actualidad solo existen ocho CRHC únicamente en la costa lo cual presenta un obstáculo para la gobernanza del agua (French, 2016).

2.5. Conflictos por agua y ciclo hidro-social del agua

Los conflictos por agua son principalmente conflictos sociales, éstos se encuentran intrínsecamente relacionados con problemas de distribución desigual del agua y la crecientes demandas de esta (Carey et al., 2014; Drenkhan et al., 2015). Estos se evidencian especialmente a escala de cuencas hidrográficas visto que son sistemas complejos con alto dinamismo, interdependencias e interrelaciones entre los diversos actores que las conforman (Bury et al., 2013). Una efectiva gobernanza de agua es fundamental para asegurar una GIRH, seguridad hídrica y evitar el surgimiento de conflictos de agua (Bernex & Tejada, 2010; Drenkhan et al., 2015). Además, es necesario contar con un enfoque a escala de cuenca que permita analizar el componente social y natural dentro del sistema hidrológico de manera integrada. Dicha visión integrada agua-humano es denominada como el ciclo hidro-social (Boelens, 2014; Carey et al., 2014).

Dentro del contexto de emergentes conflictos de agua surge la necesidad de analizar tanto la hidrósfera como la esfera social a escala temporal y espacial. Ello permitirá comprender que los conflictos por agua van más allá que la cantidad de agua disponible (Carey et al., 2014; Drenkhan et al., 2015). Es también necesario develar las relaciones de poder detrás de la asignación de agua y cómo éstas determinan el control sobre el recurso al igual que la priorización en su uso y derechos de agua (Carey et al., 2012; Lynch, 2012; Boelens, 2014). En partes del Perú, el agua se ha convertido en una mercancía con acceso restringido beneficiando a ciertos actores selectos (Swyngedouw, 2009; Lynch, 2012).

Bajo la comprensión que la escasez de agua es el resultados de procesos hidroclimáticos y socioeconómicos, Carey et al. (2014) plantean la necesidad para la incorporación de las ciencias sociales en el modelamiento hidrológico reconociendo a la vez diferentes retos. Los grandes problemas en ámbitos como la cuenca del Santa, donde se presentan diversos actores con intereses diferenciados en cuanto al manejo del agua, son las inequidades en la distribución del agua y el cumplimiento de los derechos de agua. La presencia de proyectos especiales de irrigación como lo son el PECH y Chincas genera limitaciones para el uso y la distribución equitativa del agua, especialmente en relación a las necesidades de los pequeños agricultores.

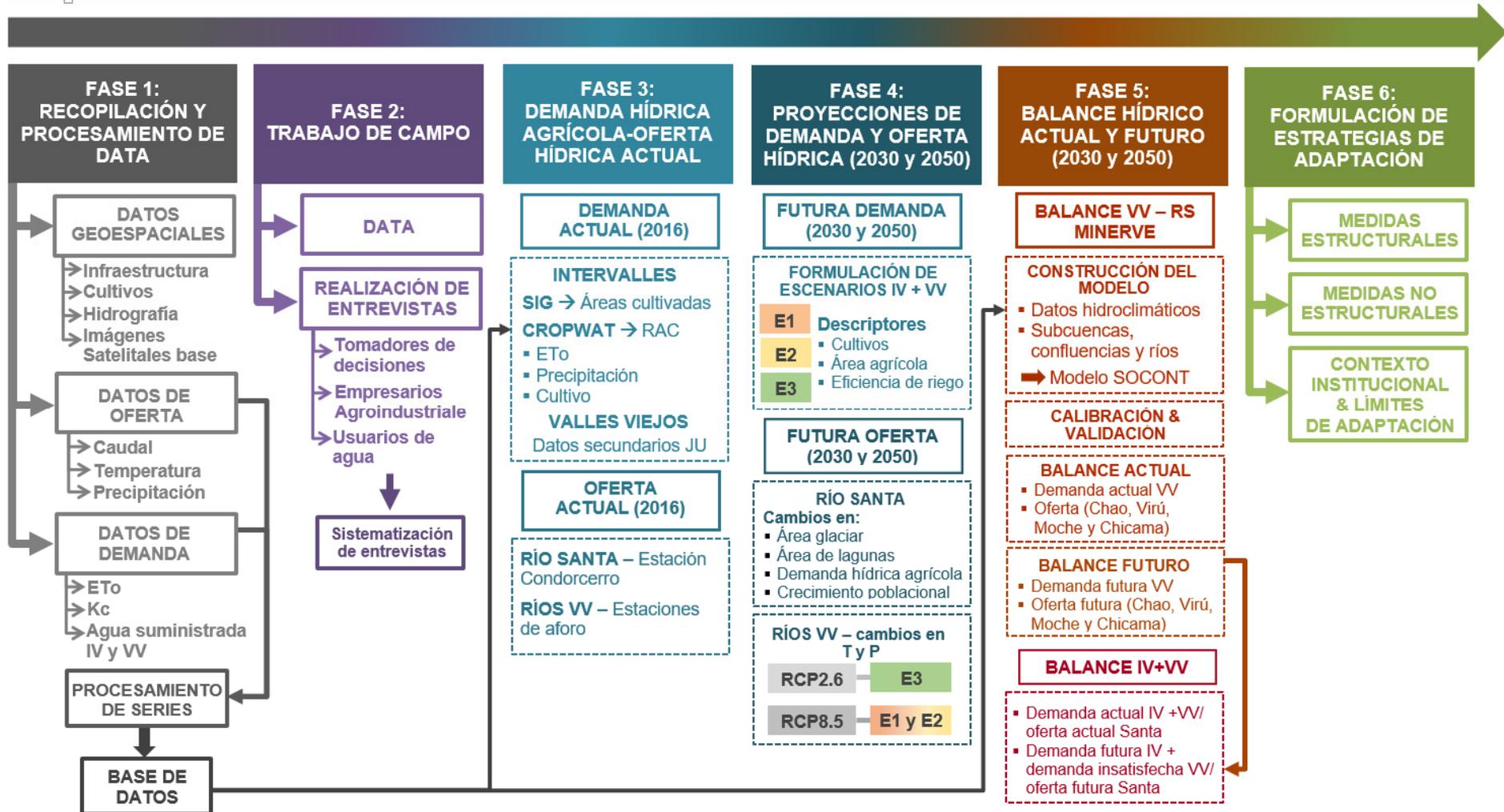
Las relaciones de poder, gobernanza poco efectiva y una LRH aún en proceso de aplicación generan una situación de vacíos de gobernanza en la que se legitima una suerte de “privatización” del agua. La importante presencia del PECH en el manejo del agua ha generado un espacio propicio para el diálogo, coordinación entre los diversos actores y usuarios del agua (Lucich & Acosta, 2016). Si bien persisten limitantes para una gestión eficaz del agua, la “privatización” de esta podría desencadenar en una gestión del conflicto (Lucich & Acosta, 2016). Por ejemplo mediante la coordinación entre las JU interregionales y el desarrollo de proyectos de retribución por servicios ecosistémicos.

3. METODOLOGÍA

La metodología consiste en seis fases conformadas por etapas (Fig. 9). La primera fase consistió en la recopilación y procesamiento de datos. La segunda comprende trabajo de campo donde se aplicaron entrevistas a tomadores de decisión y usuarios de agua. En la tercera fase se realizó el cálculo actual de la demanda hídrica agrícola-oferta hídrica para los intervalles y los valles viejos mediante el software CROPWAT y los SIG. En la cuarta fase se proyectó la demanda hídrica agrícola-oferta hídrica bajo dos horizontes temporales (2030 y 2050) para los intervalles y valles viejos. Luego, en la quinta fase se calculó el balance hídrico actual y futuro para los intervalles y valles viejos y, en la sexta fase se formularon estrategias de adaptación y manejo sostenible de los recursos hídricos por el PECH.



Figura 9: Flujo de trabajo, metodología de la investigación



3.1. Fase 1: Recopilación y procesamiento de data

Esta primera fase consiste en primer lugar en la recopilación de datos necesarios para el cálculo de la demanda hídrica agrícola del PECH (Fase 3) y el modelamiento hidrológico (Fase 5) y, en segundo lugar, en el procesamiento de la data. La principal fuente de datos fue el PECH, además de fuentes oficiales: el Portal Agrario Regional de La Libertad, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) de la ANA.

Primera Etapa: Recopilación de datos

En primer lugar se recopilieron datos geospaciales determinantes para el cálculo de la demanda hídrica agrícola y para el modelamiento hidrológico (Tab. 5). Así mismo, para los mismos objetivos se recopilieron series diarias de datos hidrometeorológicos dentro del ámbito del PECH y sus cuencas.

Tabla 5: Datos geospaciales recopilados y sus fuentes

Infraestructura y extensión del PECH	Áreas cultivadas	Hidrografía	Imágenes Satelitales Base
Fuentes			
PECH & JURP	PECH	Geoservidor del MINAM y ESCALE-MINEDU	GLOVIS USGS y ALOS PALSAR
<ul style="list-style-type: none"> • Áreas Etapas I, II y III del PECH • Red de canales de riego y bocatomas • Presa Palo Redondo • Canal Madre 	<ul style="list-style-type: none"> • Área agrícola de los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama • Tierras Nuevas Etapas I y II y cultivos • Tierras por incorporar Etapa III 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuencas hidrográficas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Huamanzaña ▪ Virú ▪ Moche ▪ Chicama • Ríos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sentinel-2 10 m, 6 bit (2 y 9 de mayo, 2016) • DEM SRTM 0.4 (12.5 m)

Para el cálculo de la demanda hídrica agrícola se obtuvo datos meteorológicos diarios de tres estaciones: San Carlos (Chao), San José (Virú) y Moche (Moche) (Tab. 6 y Fig. 10). Por otro lado, para el modelamiento hidrológico se utilizó los datos grillados (~ 5 km) diarios de precipitación (1981-2016) y temperatura (1981-2015) de la base de datos PISCO¹ (Peruvian Interpolation data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations) v1.0/v2.0 (Aybar et al., 2017) (Fig. 10). Adicionalmente, se obtuvo series históricas diarias de caudal (1998-2016) para modelar los cuatro principales ríos del PECH (Chao, Virú, Moche y Chicama).

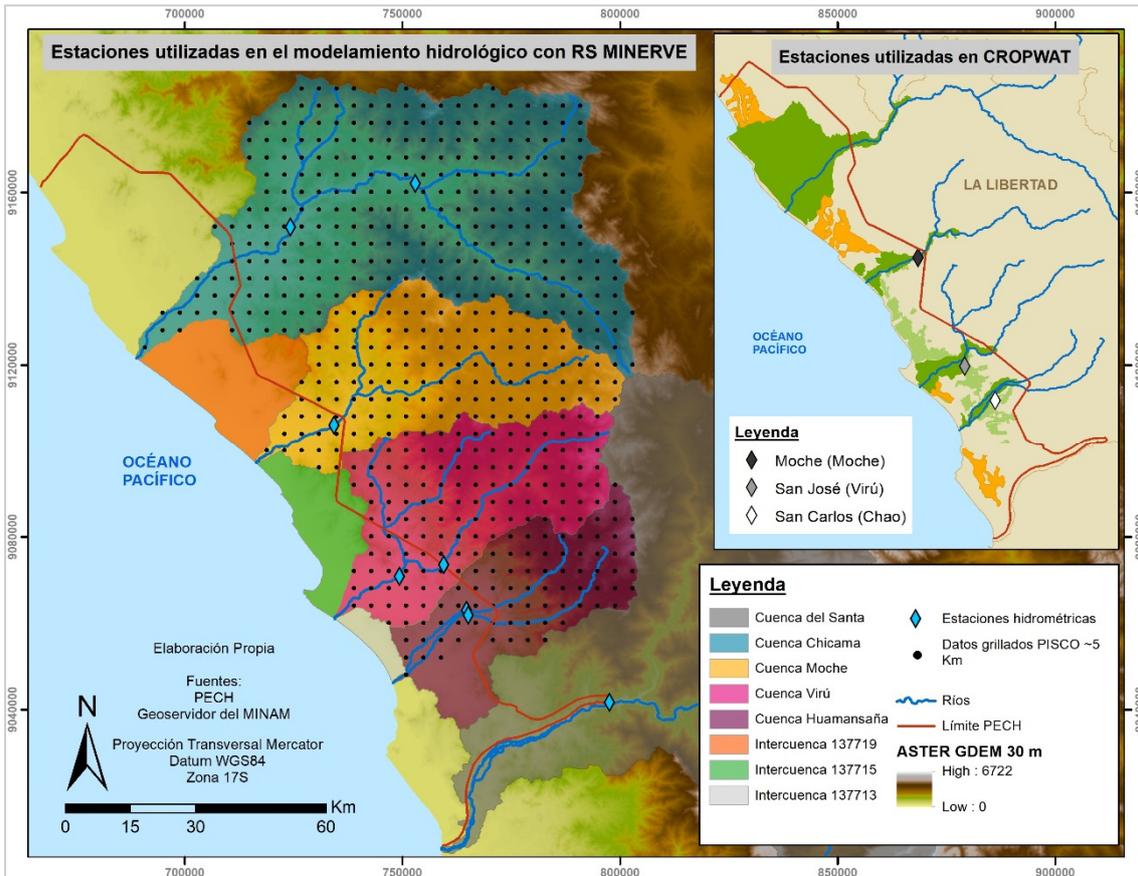
¹ Disponible en: <ftp://ftp.senamhi.gob.pe/>

Tabla 6: Estaciones utilizadas en CROPWAT y su disponibilidad de variables climáticas (2016)

Estación	Longitud (O)	Latitud (S)	Altitud (msnm)	Variables
San Carlos	78° 38' 11"	08° 31' 43"	141	ET _o
San José	78° 48' 32"	08° 43' 30"	97	ET _o
Moche	78° 52' 28"	08° 05' 03"	175	ET _o (incompleta), T _{min} y T _{max}

Fuente: PECH, 2017. Elaboración Propia.

Figura 10: Estaciones meteorológicas e hidrométricas utilizadas en la investigación



Segunda Etapa: Procesamiento de series hidrometeorológicas

En primer lugar, se compiló cronológicamente las series hidrológicas de cada estación. Luego, se realizó el mismo procedimiento para las series meteorológicas de las tres estaciones del PECH. Dado que la estación Moche contaba con vacíos en los datos meteorológicos (marzo 2016) se realizó una corrección de datos. Se realizó una corrección mediante un simple promedio diario de los datos disponibles para dicho mes y estación (2010-2015). Por otro lado, se extrajo los datos de PISCO mediante una grilla de 5x5 km. Posteriormente, se compiló las series diarias de precipitación y se calculó el promedio de temperaturas mínimas y máximas.

3.2. Fase 2: Trabajo de Campo - Entrevistas

Esta segunda fase se centró en el trabajo de campo realizado en la jurisdicción del PECH. La principal técnica utilizada fue la de entrevistas semiestructuradas exploratorias aplicadas a tomadores de decisiones, usuarios de agua y partes interesadas dentro del PECH. La técnica de entrevistas corresponde a una metodología cualitativa la cual permite reconstruir una realidad comprendida por los actores de un sistema social definido (Hernandez et al., 2010). Las entrevistas semiestructuradas se basan en el apoyo en una guía de entrevista con una estructura y diseño realizado previo a la salida de campo (Bernard, 2006; Murillo, 2013). Adicionalmente, las entrevistas tuvieron un carácter exploratorio con la finalidad de identificar opiniones relevantes de los usuarios que convergen dentro del ámbito del PECH al igual que su visión de la problemática del agua. Los principales temas que se abordaron en las entrevistas fueron gestión y gobernanza del agua, técnicas de riego, oferta y demanda hídrica y adaptación. Se elaboraron dos guías de entrevistas (Anexos 2 y 3) en función a las personas entrevistadas.

En total se realizaron ocho entrevistas con representantes de empresas agroindustriales, JU y especialistas del PECH. Se entrevistó al Gerente de Gestión de Calidad de la empresa Virú S.A. y al Subgerente de Operaciones Agrícolas de las empresa Danper S.A.C. De la Junta de Usuarios de la Cuenca del Río Moche se entrevistó al Gerente de Operaciones y Mantenimiento; de la Junta de Usuarios de Agua de la Cuenca del Río Virú, a la Ingeniera Agrícola encargada; de la Junta de Usuarios de Agua del Subdistrito de riego Chao, especialista en Comunicaciones y de la JURP, al Jefe de Investigación Fitosanitaria y al Gerente de Operación y Mantenimiento. Finalmente, se entrevistó al Jefe de la división de Medio Ambiente del PECH y al Ingeniero responsable de la Operación de Infraestructura Hidráulica Mayor. Con el consentimiento de los entrevistados se grabó las entrevistas para luego ser transcritas y sistematizadas en gabinete.

3.3. Fase 3: Demanda y oferta hídrica actual (2016)

3.3.1. Intervalles

Demanda hídrica agrícola actual

Primera Etapa: extensión de área cultivada

Para evaluar la demanda hídrica agrícola total del PECH se debe contar con datos de área cultivada, tipo de cultivos sembrados y sus requerimientos hídricos. Del PECH se obtuvo información geoespacial de cultivos (2014) y datos estadísticos de los cultivos sembrados en los intervalles (2017). Dado que la información geoespacial estaba desactualizada (año 2014) se utilizó el método semi-automático Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI) y utilizó el análisis visual para actualizar los datos geoespaciales (Rouse et al., 1974).

Se utilizaron las imágenes satelitales SENTINEL-2 (resolución espacial 10 m) y a partir del método de sensoramiento remoto y combinación de bandas de falso color (NIR-R-G/8-4-3) se identificó la presencia de vegetación. Luego, para identificar el vigor y densidad de la cobertura vegetal se calculó el NDVI el cual consiste en emplear dos bandas; una con alta reflectancia, el infrarrojo cercano o NIR (banda 8); y otra con alta absorción, el canal rojo o R

(banda 4) (Marshall, 2014). Tras calcular el NDVI se determinaron umbrales a partir de los cuales se clasificó la cobertura vegetal según su vigor para luego generar polígonos de vegetación y calcular su extensión. El NDVI se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI_{SENTINEL-2} = \frac{NIR (Bd. 8) - R (Bd. 4)}{NIR (Bd. 8) + R (Bd. 4)}$$

[1]

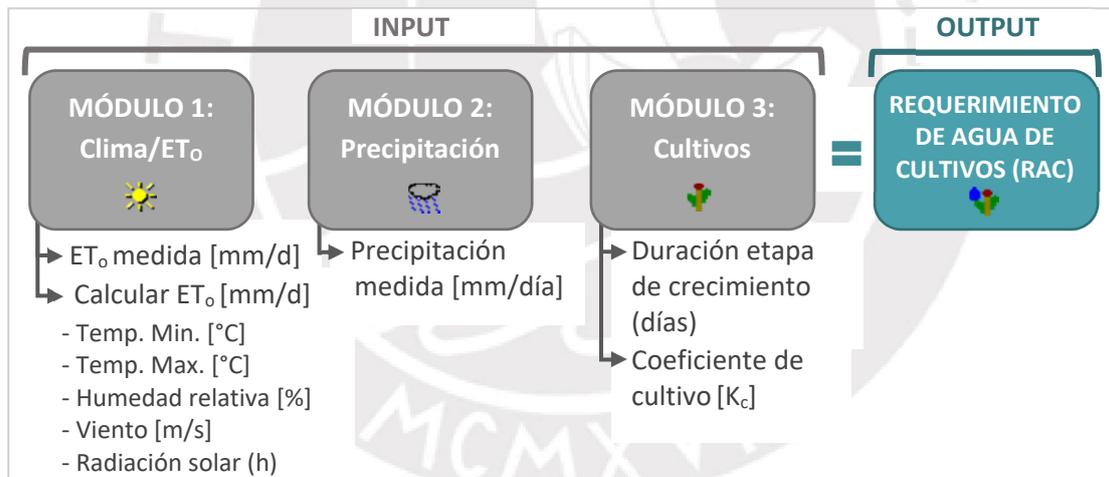
Donde, NIR = Infrarrojo cercano

R = rojo

Segunda Etapa: cálculo de demanda hídrica agrícola

Se eligió el software de libre disponibilidad CROPWAT² versión 8.0 desarrollado por la División de Tierras y Aguas de la FAO para el cálculo de Requerimiento de Agua de Cultivos (RAC, demanda hídrica agrícola neta) mediante data climática y de cultivos (Smith, 1992). Este software fue elegido dada su amplia utilización en investigaciones y, principalmente, por ser la herramienta recomendada en el Plan Nacional de Recursos Hídricos para calcular la demanda hídrica agrícola (ANA & MINAGRI, 2013b). CROPWAT requiere input data para tres módulos: 'Clima/ET_o', 'Precipitación' y 'Cultivo' (Fig. 11). Dada la homogeneidad del territorio en el que se emplaza el PECH, se eligió tres estaciones meteorológicas representativas localizadas en los valles para calcular los RAC (Fig. 10).

Figura 11: Proceso de cálculo de RAC en CROPWAT



Fuente: CROPWAT (FAO). Elaboración propia.

En el primer módulo de entrada 'Clima/ET_o' se pueden ingresar directamente los datos de ET_o o pueden ser directamente calculados con el programa mediante el método Penman-Monteith (Allen et al., 2006) a partir de cinco variables meteorológicas (temperatura máxima/mínima como mínimo necesario, humedad relativa, velocidad de viento y horas de sol). Para las estaciones con datos primarios de ET_o, se ingresaron directamente los valores al programa. Dado que la estación Moche no contaba con datos meteorológicos para el mes de marzo (2016), se utilizó la serie corregida de temperatura máxima/mínima para calcular la ET_o.

² Disponible en: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>

Cuando solo se cuenta con datos de temperatura, CROPWAT permite calcular la ET_o , pero no permite añadir datos adicionales a las coordenadas de la estación meteorológica. Con la finalidad de asegurar la precisión de los resultados, se utilizó el software libre de la FAO – ET_o Calculator³ versión 3.2 (Raes, 2012) el cual - a diferencia de CROPWAT - permite distinguir si la estación se encuentra en la costa o zonas interiores, zonas semi-áridas o semi-húmedas además de indicar la intensidad prominente del viento. Se evaluó el desempeño de ambos software para el cálculo de la ET_o estación Moche 2010-2015 mediante datos de temperatura. Luego, se realizó una correlación lineal de los valores calculados con cada software con los valores reales medidos de ET_o por la estación (2010-2015) y se eligió a CROPWAT como la herramienta más óptima para completar la serie de ET_o Moche 2016.

En el módulo ‘precipitación’ se calculó la precipitación efectiva a partir de los datos de precipitación año 2016 de las tres estaciones meteorológicas. En el tercer módulo ‘cultivos’ se utilizó la información de cultivos (Fig. 11) descargada de la FAO en relación a los cultivos del PECH. Luego, se pasó al módulo de salida RAC donde se calculó la demanda hídrica agrícola neta para cada cultivo. Para aquellos cultivos sembrados en el PECH que no se contaba información de la FAO (arándanos, lúcumo, granado y maracuyá) se utilizó valores referenciales de demanda hídrica obtenidos de estudios en la zona de estudio y las entrevistas realizadas en campo (Chacón Agreda, 2016; Uribe Lescano, 2016).

CROPWAT calcula la demanda hídrica agrícola neta (RAC) sin pérdidas (eficiencia teórica de 100%). Sin embargo, en el sistema PECH-intervalles hay tres tipos de eficiencias de riego (1) Conducción, a lo largo del Canal Madre (~80%) (2) Distribución, en canales laterales (~70%) y (3) Aplicación, a nivel de parcela y cultivos por riego por goteo (~90%) (MINAGRI, 2015). En conjunto se calculó una eficiencia promedio de 80% para los intervalles. Mediante la siguiente fórmula establecida por la FAO se calculó la demanda hídrica agrícola bruta:

$$\text{Demanda hídrica agrícola bruta} = \frac{\text{Demanda hídrica neta (RAC)}}{\text{Eficiencia de riego}} \times 100 \quad [2]$$

Luego, en ArcGIS se calculó y digitalizó la demanda hídrica bruta de los cultivos del PECH Etapas I y II (2016) según su extensión en base a los datos geoespaciales actualizados de cultivos.

Oferta hídrica actual del Santa

Los intervalles del PECH utilizan únicamente el agua del Santa la cual es derivada por el Canal Madre. Los datos de oferta hídrica del Santa utilizados fueron las series diarias de caudal (1958-2016) medidas en la estación Condorcerro aguas arriba de la bocatoma Chavimochic (-8.6463, -78.2324, 477 msnm, cuenca de 10,412 km²) provistas por el PECH. Se calculó el promedio mensual del caudal del Santa para dicho periodo y la desviación estándar a fin de presentar la variabilidad en el caudal. Por otro lado, se calculó el caudal útil del Santa para el

³ Disponible en: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/>

Proyecto al restarle el caudal ecológico mínimo de 5 m³/s diario (R.J N° 219-2014-ANA) y el volumen de agua derivado por Chincas bocatomas La Huaca y La Víbora (Chincas, 2015).

3.3.2. Valles Viejos

Demanda hídrica agrícola actual

Debido a la falta de información de cultivos en el área de los valles viejos y por ser un área extensa y heterogénea, no se calculó la demanda hídrica agrícola. En cambio, se utilizó información de volumen de agua suministrada de agua del río Santa del PECH para los valles viejos (áreas de mejoramiento). Adicionalmente, se complementó con información del volumen de agua distribuida proveniente de las propias cuencas (Chao, Virú y Moche) provista por las JUs.

Oferta hídrica actual

En contraste con los intervalles en los valles viejos hay dos principales fuentes hídricas: el agua del Santa la cual cubre aproximadamente el 74% de su demanda hídrica agrícola y la oferta de los ríos del PECH la cual cubre el 27% de la demanda restante. Para complementar los datos de oferta hídrica del Santa se obtuvo series diarios de caudal de los ríos Chao, Virú, Moche y Chicama provistas por el PECH (1998-2016).

3.4. Fase 4: Proyecciones de demanda y oferta hídrica futura (2030 y 2050)

Esta fase comprendió las proyecciones para la demanda hídrica agrícola y la oferta hídrica en los intervalles y valles viejos. Las proyecciones en la demanda-oferta hídrica fueron realizadas para dos horizontes temporales a corto (hacia el 2030) y mediano plazo (hacia el 2050).

A modo de exploración del futuro de la demanda hídrica agrícola, se formularon tres escenarios para los intervalles y valles viejos: E1 “*Todo sigue igual*”, E2 “*Adaptación técnica*” y E3 “*Transformación socio-política*” en base a tres variables: cultivos, área agrícola y eficiencia de riego. Una referencia para la construcción de escenarios son las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (Edenhofer et al., 2010) y el Plan Nacional de Recursos Hídricos (ANA & MINAGRI, 2013a). Los escenarios proponen trayectorias probables de la evolución de la demanda hídrica agrícola del PECH desde un crecimiento elevado (E1), uno moderado-alto (E2) y uno bajo (E3). Los escenarios fueron contruidos en base al análisis de las entrevistas realizadas y datos secundarios recopilados.

3.4.1. Intervalles

Demanda hídrica agrícola futura

Previo al desarrollo de los escenarios se determinó la situación actual (año 2016) de las variables elegidas para determinar la futura demanda hídrica en los intervalles: área agrícola y eficiencia de riego (Tab. 7).

Tabla 7: Caracterización de la situación actual (año 2016) de las variables de demanda hídrica agrícola (intervalles)

Variable	Dato inicial	Fuente
Área agrícola [ha]	22,438	JURP, 2017
Eficiencia de riego [%]	80	Comunicación personal Jefe división Medio Ambiente del PECH, 1 de marzo de 2018

Fuente: Elaboración propia.

En la Tab. 8. se presentan los tres escenarios de proyección de la demanda hídrica agrícola en los intervalles con los supuestos definidos para las tres variables principales. A continuación se detalla la formulación de cada escenario en relación a cambios en cultivos sembrados, evolución en el área agrícola y en la eficiencia de riego.

Tabla 8: Escenarios de futura demanda hídrica agrícola bruta (intervalles)

Escenarios	Años	Cultivos* Según escenario	Área agrícola [ha]		Eficiencia de riego [%]	
			variación	total	variación	total
E1: Todo sigue igual	2030	E1	+ 16,829	39,267	0	80
	2050		+ 43,637	66,075		
E2: Adaptación técnica	2030	E2	+ 16,829	39,267	+ 10	90
	2050		+ 43,637	66,075		
E3: Transformación socio-política	2030	E3	+ 13,270	35,708	+ 5	85
	2050		+ 32,227	54,665		

*Ver Tab. 20

Fuente: Elaboración propia

Escenario 1 (E1) "Todo sigue igual"

Bajo el E1 "Todo sigue igual", se establece que no habría cambios sustanciales en el marco político-institucional de desarrollo agrícola y gestión de recursos hídricos, por ende, habría un aumento constante de la demanda hídrica agrícola bruta de los intervalles.

En primer lugar, continuaría el incremento en la demanda y valor de productos agrícolas no tradicionales de alto consumo hídrico de modo que las empresas agrícolas mantendrían su visión de desarrollo agrícola intensivo guiado por el mercado. Además, no habría un mayor énfasis en reducir la alta demanda hídrica agrícola mediante innovación técnica o medidas de gestión. Como resultado, los cultivos predominantemente sembrados serían de alto consumo hídrico (>13,000 m³/ha).

En segundo lugar, por un lado, las políticas nacionales seguirían favoreciendo el desarrollo agrícola a gran escala en la costa peruana. A ello se suman las instituciones como el MINAGRI y ALAs las cuales mantendrían el mismo lineamiento de desarrollo agrícola sin cambios radicales para gestionar el área agrícola. En ese sentido, seguiría la expansión agrícola con el objetivo de concluir con la Etapa III (66,075 ha cultivadas) según lo establecido por el PECH, asumiendo un crecimiento de ~1,200 ha/año en relación a la serie de áreas agrícolas 1998-2012 (Gaita, 2014; GORE La Libertad & PECH, 2014). Así, para el año 2030 se prevé un aumento de aproximadamente 16,829 ha (+75%) y para el año 2050 de 43,637 ha (+194%), dando como resultado una superficie agrícola total de 66,075 ha. En tercer lugar, el mismo

trasfondo socio-político e institucional conllevarían a que la eficiencia de riego combinada se mantenga en 80% (Tab. 8).

Escenario 2 (E2) “Adaptación técnica”

El E2 “Adaptación técnica”, considera mejoras técnicas en el desarrollo agrícola y en el uso del agua como respuesta ante posibles cambios observados en la disponibilidad hídrica del Santa. Dichas mejoras técnicas hacen referencia específicamente a la eficiencia de riego y serían impulsadas por las empresas agrícolas con el apoyo de la JURP y entidades estatales (ANA, MINAGRI). Así, esta incrementaría en un 10% (total de 90%) hacia el año 2050 bajo el uso total de sistemas de riego por goteo y una reducción en las pérdidas en los canales de distribución.

Si bien se optimizaría el uso del agua, ello sería una respuesta ante la mayor vulnerabilidad de la producción agrícola y no a una verdadera transformación socio-cultural y política en la gestión de los recursos hídricos. Ello quiere decir que no se generarían cambios más sistemáticos en el modelo de desarrollo agrícola impulsado por el país por lo tanto las empresas agroexportadoras continuarían la producción agrícola bajo las reglas del mercado libre internacional. En ese sentido, habría una expansión agrícola como en el E1 con los mismos cultivos de uso intensivo de agua.

Escenario 3 (E3) “Transformación socio-política”

A diferencia de los otros dos escenarios, el E3 “Transformación socio-política” supone un cambio a nivel político-institucional, social y técnico. En ese sentido, el marco político tomaría en consideración las implicancias del cambio global, la gestión adaptativa de recursos hídricos con un enfoque en la demanda hídrica y de cuencas. En paralelo, habría un fortalecimiento institucional (ALAs, creación de CRHC) y una mayor cooperación entre las partes interesadas en el PECH, generándose cambios en el tipo de agricultura desarrollada.

En primer lugar, como consecuencia de la conciencia socio-ambiental de las empresas agroexportadoras y la necesidad de gestionar adaptativamente los recursos hídricos y con ello la producción agrícola, se generarían cambios en los tipos de cultivos sembrados. En ese sentido, la proporción entre el área agrícola de cultivos de alto y bajo consumo hídrico disminuiría a 30% y 70%, respectivamente. En segundo lugar, habría un aumento controlado en la expansión de la frontera agrícola incluyendo partes de la Etapa III dado que sus obras ya se encuentran en ejecución (Jefe división Medio Ambiente del PECH, comunicación personal, 1 de marzo de 2018). Por un lado, se cumpliría con la expansión agrícola Etapas I y II (aprox. 24,227 ha). Por otro lado, se incorporaría 8,000 ha (de la meta de 19,400 ha) de tierras nuevas correspondientes a la Etapa III entre Moche y Chicama. Así, la expansión agrícola no continuaría hasta las Pampas de Urricape (norte del valle de Chicama). A corto plazo (2030) el área agrícola aumentaría en aproximadamente 13,270 ha (+59%) y a mediano plazo en 32,227 ha (144%), con un área agrícola total de 54,665 ha. En tercer lugar, la eficiencia de riego incrementaría en 5% (total de 85%) en base a sistemas tecnificados (Tab. 8).

Oferta hídrica futura del Santa

Se calculó datos sobre la oferta hídrica futura del río Santa en el punto de confluencia de Condorcerro con un modelo de balance de agua semi-distribuido según Drenkhan et al. (*en prep.*). Para modelar la oferta hídrica se utilizó el Inventario de Glaciares y Lagunas de la ANA (2014, 2016) y los datos de temperatura/precipitación PISCO v1.0/v2.0 (Aybar et al., 2017). Para la demanda hídrica, se consideró las áreas regadas (INEI, 2013) con un riego promedio de cultivos de 12,744 m³/ha/año y el consumo de agua doméstico promedio de 120 l/cápita/día (INEI 2017a, 2017b). Adicionalmente, se calcularon las pérdidas hídricas a partir de la estimación de evapotranspiración de áreas terrestres y cultivos y la evaporación de lagunas.

Esta línea de base (2016) se proyectó al 2030 y 2050 usando tasas de cambio para el área glaciario (-1.2%/año), el área de lagunas (+0.2%), demanda de agricultura (+1.1%/año) y consumo doméstico (+0.6 l/cápita/año) y crecimiento poblacional (+0.6%/año), similar al modelamiento presentado en Drenkhan et al. (*en prensa*) y Drenkhan et al. (*en prep.*). No se diferenció entre los escenarios RCP2.6 y RCP8.5 ya que hasta el 2050 las trayectorias de ambos escenarios muestran una evolución similar dado que el pico de mayores concentraciones de gases de efecto invernadero se establecería recién en la segunda mitad del siglo XXI.

3.4.2. Valles viejos

Demanda hídrica agrícola futura

Si bien en los valles viejos se realiza el mismo tipo de agricultura familiar, cada valle presenta factores que influyen de manera diferenciada en el uso del agua y desarrollo agrícola. En ese sentido, se consideró prudente formular supuestos diferentes para cada valle en función a las entrevistas realizadas e información secundaria recopilada. En la Tab. 9 se presenta la situación actual de las variables sobre las cuales se han formulado los escenarios de futura demanda hídrica agrícola de los valles viejos.

Tabla 9: Caracterización de la situación actual (año 2016) de las variables de demanda hídrica agrícola (valles viejos)

Valle viejo	Área agrícola [ha]	Potencial área agrícola [ha]	Eficiencia de riego [%]	Cultivos demanda hídrica bruta [m ³ /ha]
Chao	6,045	7,419	35	11,077
Virú	10,566	10,734	35	11,185
Moche	7,809	8,991	35	13,710
Chicama	39,936	74,491	35	14,400

Fuente: ANA-Dirección de Administración de Recursos Hídricos (DARH) (2018). Elaboración propia.

En la Tab. 10 se presentan los escenarios de futura demanda hídrica agrícola bruta de los valles viejos, considerando las variables *área agrícola* y *eficiencia de riego*. Dada la alta heterogeneidad socioeconómica y agrícola en los valles, la proyección de cambios en cultivos conllevaría a una alta incertidumbre. Por eso se considera que a corto y mediano plazo se mantienen los cultivos, por ende su demanda hídrica agrícola bruta promedio por hectárea es la misma para los tres escenarios y diferente en cada valle (Tab. 9).

Tabla 10: Escenarios de futura demanda hídrica agrícola bruta (valles viejos)

Escenario	Valle viejo	Área agrícola variación [%] y total [ha]				Eficiencia de riego variación y (total)	
		2030		2050		2030	2050
		var.	total	var.	total	%	%
E1: Todo sigue igual	Chao	+ 11.4	(6,732)	+ 22.7	(7,419)	0 (35)	+ 5 (40)
	Virú	+ 0.8	(10,650)	+ 1.6	(10,734)		
	Moche	+ 7.6	(8,400)	+ 15.1	(8,991)		
	Chicama	+ 25.1	(49,968)	+ 50.2	(60,000)		
E2: Adaptación técnica	Chao	+ 11.4	(6,732)	+ 22.7	(7,419)	+ 15 (50)	+ 30 (65)
	Virú	+ 0.8	(10,650)	+ 1.6	(10,734)		
	Moche	+ 7.6	(8,400)	+ 15.1	(8,991)		
	Chicama	+ 25.1	(49,968)	+ 50.2	(60,000)		
E3: Transformación socio-política	Chao	+ 5.5	(6,378)	+ 11.0	(6,711)	+ 10 (45)	+ 20 (55)
	Virú	+ 0.8	(10,650)	+ 1.6	(10,734)		
	Moche	+ 3.8	(8,103)	+ 7.5	(8,396)		
	Chicama	+ 12.6	(44,968)	+ 25.2	(50,000)		

Fuente: Elaboración propia.

Nota: el área agrícola proyectada bajo los E1 y E2 corresponden al máximo potencial agrícola de los valles (Tab. 9). Para el E3 se proyecta la mitad de la expansión propuesta en los E1 y E2, excepto Virú.

Las proyecciones en la demanda hídrica agrícola de los valles viejos se basan en los mismos escenarios que en los intervalles, sin embargo, estos han sido adaptados a las particularidades de los valles viejos.

Escenario 1 (E1) "Todo sigue igual"

Bajo el escenario "Todo sigue igual" se asume que en los cuatro valles viejos (Chao, Virú, Moche y Chicama) continúa la expansión agrícola de manera diferenciada. Dado que en los valles de Chao, Virú y Moche ha habido un importante crecimiento urbano, se establece que continúa dicho crecimiento. A ello se suma la restricción topográfica de los valles viejos que generarían una disminución en el ritmo de expansión agrícola. Por lo tanto, no se podría cumplir con las ambiciosas metas propuestas por el PECH (Tab. 1), más si con el área potencialmente cultivada establecida por la ANA (Tab. 9). Así, la variación en el área agrícola de dichos valles (2030 y 2050) correspondería al área restante a ser incorporada según la ANA (Tab. 10). Por otro lado, el valle de Chicama cuenta con un potencial agrícola de ~74,000 ha de las cuales 40,000 ha se encuentran cultivadas (Tab. 9). Se plantea que bajo la dotación de agua del Santa su área agrícola podría expandirse hasta 60,000 ha.

En segundo lugar, en contraste con los intervalles en los valles viejos hay un mayor potencial de mejora en la eficiencia de riego dado que esta es muy baja. Así, se plantea que a corto plazo (2030) esta se mantiene igual (35%) y a mediano plazo (2050) incrementaría solo en un 5% (total de 40%). Ello se debe a que en la actualidad la tecnificación de riego ha sido lenta y en promedio por valle solo el 3.5% del área ha sido tecnificada (PECH, 2017b). En total, bajo el presente escenario, la demanda hídrica agrícola bruta total aumentaría.

Escenario 2 (E2) “Adaptación técnica”

Bajo el escenario “Adaptación técnica”, se plantea que el PECH con el apoyo financiero y técnico de instituciones público-privadas buscaría reimpulsar las obras de mejoras en la eficiencia de riego. Se enfatizaría en el riego por gravedad mejorado el cual ha sido más fácil de adecuar a la pequeña agricultura (Jefe división Medio Ambiente del PECH, comunicación personal, 2 de abril de 2018). Así, al año 2030 la eficiencia de riego incrementaría en 15% y al año 2050 en 30%, alcanzando una eficiencia de 65% la cual corresponde a la eficiencia de la técnica de riego por gravedad mejorado (Marshall, 2014).

Si bien se instalarían sistemas de irrigación más tecnificados, la demanda hídrica agrícola bruta total no disminuiría drásticamente dado que aún habría un control reducido en el monitoreo y seguimiento a los sistemas de riego mejorado. Además, no habría una verdadera transformación en la actitud de los agricultores debido a la falta de sensibilización de modo que continuaría la expansión agrícola como en el E1.

Escenario 3 (E3) “Transformación socio-política”

Al igual que en el E2, en este escenario habría apoyo financiero y técnico de instituciones público-privadas para mejorar los sistemas de irrigación en los valles viejos. Así, al año 2030 habría un incremento en la eficiencia de riego de 10% (total de 45%) y para el 2050 de 20% (total de 55%). La eficiencia total del E3 sería menor que la del E2, sin embargo, la demanda hídrica agrícola bruta total sí disminuiría significativamente como resultado de un cambio socio-cultural en el manejo y uso de agua de riego por los pequeños agricultores. Las instituciones (ANA-ALA, JU y PECH) trabajarían coordinadamente bajo el eje de Nueva Cultura de Agua, priorizando la sensibilización y capacitación sobre el uso eficiente del agua, especialmente con las generaciones más jóvenes. Además, bajo un fortalecimiento institucional habría trabajos conjuntos para monitorear la efectiva distribución y uso del agua acorde a los derechos de los usuarios.

Debido al uso racional del agua y a un posible incremento del tejido urbano, al año 2050 el área agrícola de los valles de Chao, Moche y Chicama crecería la mitad de lo previsto en el E1 y E2. El caso de Virú es diferente, ya que a la fecha se aproxima a alcanzar su máxima expansión agrícola, por ende, se prevé que crecería al igual que en el E1 y E2.

Oferta hídrica futura

Para realizar las proyecciones de la futura oferta hídrica de los ríos de los valles viejos se utilizaron las proyecciones de clima (precipitación y temperatura) de Modelos de Circulación Global (GCM) de la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP5) para los escenarios de concentración de gases de efecto invernadero RCP2.6 y RCP8.5 (Taylor et al, 2012). La data fue extraída a nivel mensual para dos horizontes temporales 2011-2041 (para el 2030) y 2031-2060 (para el 2050) del *Climate Explorer* del Real Instituto Meteorológico Neerlandés (KNMI) (Tab. 11).

Tabla 11: Variación en temperatura y precipitación bajo los escenarios RCP2.6 y 8.5 (2030 y 2050) con respecto a (1981-2010)

Años	RCP2.6				RCP8.5			
	T [°C]		P [mm]		T [°C]		P [mm]	
	Seca/húmeda							
2030	+0.70	+0.68	+0.03	+0.22	+0.36	+0.35	+0.00	+0.14
2050	+0.95	+0.91	+0.06	+0.23	+1.15	+1.11	+0.08	+0.30

Fuente: KNMI Climate Explorer

Seca: mayo-setiembre; Húmeda: octubre-abril

La simulación de futura oferta hídrica de los valles viejos se realizó mediante el software libre de modelización hidrológica RS MINERVE⁴ (versión 2.5.2) desarrollado por el CREALP (Foehn et al., 2016). Este permite simular los procesos lluvia-escorrentía para representar el caudal existente o futuro de una cuenca a partir de un modelo conceptual semi-distribuido y el uso de objetos hidrológicos e hidráulicos para incorporar la oferta y la demanda (Foehn et al., 2016; García Hernández et al., 2016).

3.5. Fase 5: Balance hídrico actual (2016) y futuro (2030 y 2050)

A partir del balance hídrico actual y futuro se integró la demanda hídrica de los intervalles y los valles viejos en función a la principal fuente hídrica (el río Santa). Dado que la oferta hídrica del Santa abastece tanto a los intervalles (100%) como a los valles viejos (73%), fue necesario utilizar la demanda hídrica actual y futura de los dos ámbitos del PECH que es satisfecha por el agua del Santa. Es por ello que un primer momento se realizó el balance hídrico para los valles viejos y los resultados de déficit fueron el insumo para el balance hídrico total intervalles y valles viejos - Santa.

3.5.1. Valles viejos

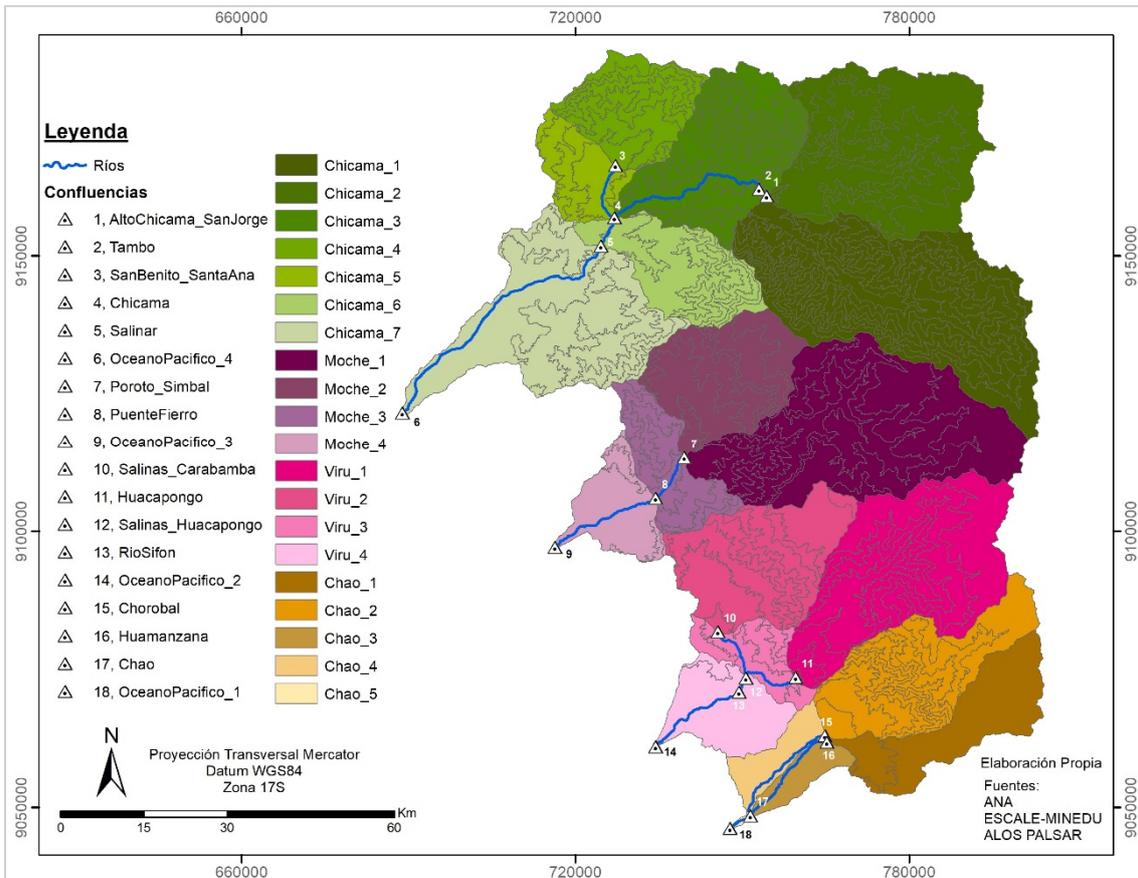
Para el balance hídrico actual (1998-2016) y futuro de los valles viejos (2030 y 2050) se utilizó el modelo hidrológico lluvia-escorrentía 'SOil CONtribution' (SOCONT) desarrollado por Consuegra & Vez (1996). Este se basa en la interacción de tres modelos en serie: Snow-GSM (Glacier Snow Melting), GR3 (Génie Rural à paramètres) y SWMM (Storm Water Management Model) para, en conjunto, simular la escorrentía superficial (Astorayme et al., 2015). Para más información sobre el modelo SOCONT ver García Hernández et al. (2016).

Construcción del modelo

Se construyó el modelo a partir de la creación de 20 subcuencas las cuales fueron delimitadas a partir del DEM SRTM Alos Palsar 0.4 (12.5 m), segmentos de los ríos principales y 18 confluencias. Luego, las subcuencas fueron divididas en bandas de elevación en intervalos de 400 m a fin de repartir las subcuencas en diferentes regiones altitudinales que permitan interpolar realísticamente los datos climáticos reconociendo la heterogeneidad climática e hidrológica. En RS MINERVE se incorporó la base de datos de caudal, temperatura y precipitación procesados en la Fase 1 y mediante su interface SIG se generó un total de 20 submodelos hidrológicos SOCONT (Fig. 12) (Anexo 4).

⁴ Disponible en: <http://rsminerve.hydro10.org/download/>

Figura 12: Modelo hidrológico semi-distribuido del PECH: división en 20 subcuencas, bandas altitudinales (400 m) y 18 confluencias con 6 observaciones de caudal



Calibración - validación y simulaciones

La calibración del modelo se realizó con el calibrador semi-automático del software en función a seis puntos de observación de caudal (estaciones de aforo) a fin de asegurar que el caudal simulado sea lo más próximo al observado (de estaciones *in-situ*) (Anexo 5). Tras un análisis de las series de caudal, se eligió el periodo 2000-2008 para realizar la calibración excluyendo la influencia de El Niño (1997-98).

Se utilizó el algoritmo de calibración Coupled Latin Hypercube y Rosenbrock el cual permite optimizar problemas complejos (García Hernández et al., 2016). Además, se utilizó la prueba estadística de eficiencia Kling-Gupta (KGE) la cual permite optimizar deficiencias comunes en la calibración basado en la correlación, sesgo y variabilidad del modelo hidrológico. La prueba KGE da como resultado valores entre 0 y 1, siendo 1 el mejor desempeño (Gupta, et al., 2009; García Hernández et al., 2016). Se realizó aproximadamente 100 iteraciones hasta alcanzar los valores más altos para el indicador de eficiencia Kling Gupta.

La validación del modelo fue realizada en el periodo 2009-2015 con la finalidad de evaluar la bondad del modelo para simular los caudales de los ríos después de la calibración. Para ello se utilizó como parámetro de referencia el umbral de 0.7 de KGE.

Tras la calibración/validación se incorporó la demanda hídrica agrícola actual de los valles viejos a partir de objeto 'consumo' lo cual permitió calcular el balance hídrico para los valles viejos. Luego, se actualizó la base de datos de futura oferta y demanda hídrica agrícola (3.4.2) y se calculó el futuro balance hídrico de los valles viejos. Las proyecciones en la oferta hídrica RCP8.5 fueron utilizadas para los escenarios E1 y E2 y RCP2.6 para el E3.

3.5.2. Total: intervalles y valles viejos

En primer lugar, el balance hídrico total (intervalles y valles viejos) actual se realizó en base a la demanda hídrica agrícola de los intervalles, el volumen de agua del Santa suministrada a los valles viejos y la oferta hídrica útil del Santa (3.3.1). En segundo lugar, para el balance futuro se utilizó la demanda hídrica agrícola futura de los intervalles, los resultados del déficit hídrico simulado para los valles viejos con RS MINERVE y la oferta hídrica futura del Santa (3.4.1).

3.6. Fase 6: Formulación de estrategias de adaptación

En la presente fase se formularon estrategias de adaptación para una gestión sostenible de los recursos hídricos. Se plantearon dos grupos principales de estrategias; por un lado, las medidas estructurales las cuales se encuentran vinculadas a modificaciones en la infraestructura de riego y los patrones de cultivo. Por otro lado, las medidas no-estructurales las cuales abarcan el marco político-institucional y social a través de ejes como la concientización y educación. La combinación de ambos tipos de medidas busca proporcionar un marco integrado frente a los múltiples desafíos presentes en la gestión de los recursos hídricos en la costa los cuales no son solamente de corte técnico, sino también político-institucional y social.

La formulación de estrategias se realizó en base a los aportes obtenidos de especialistas, usuarios y tomadores de decisiones entrevistados durante el trabajo de campo. Dicha información fue complementada con revisión bibliográfica de estudios que identifican una gama de medidas sugeridas en la gestión de recursos hídricos.

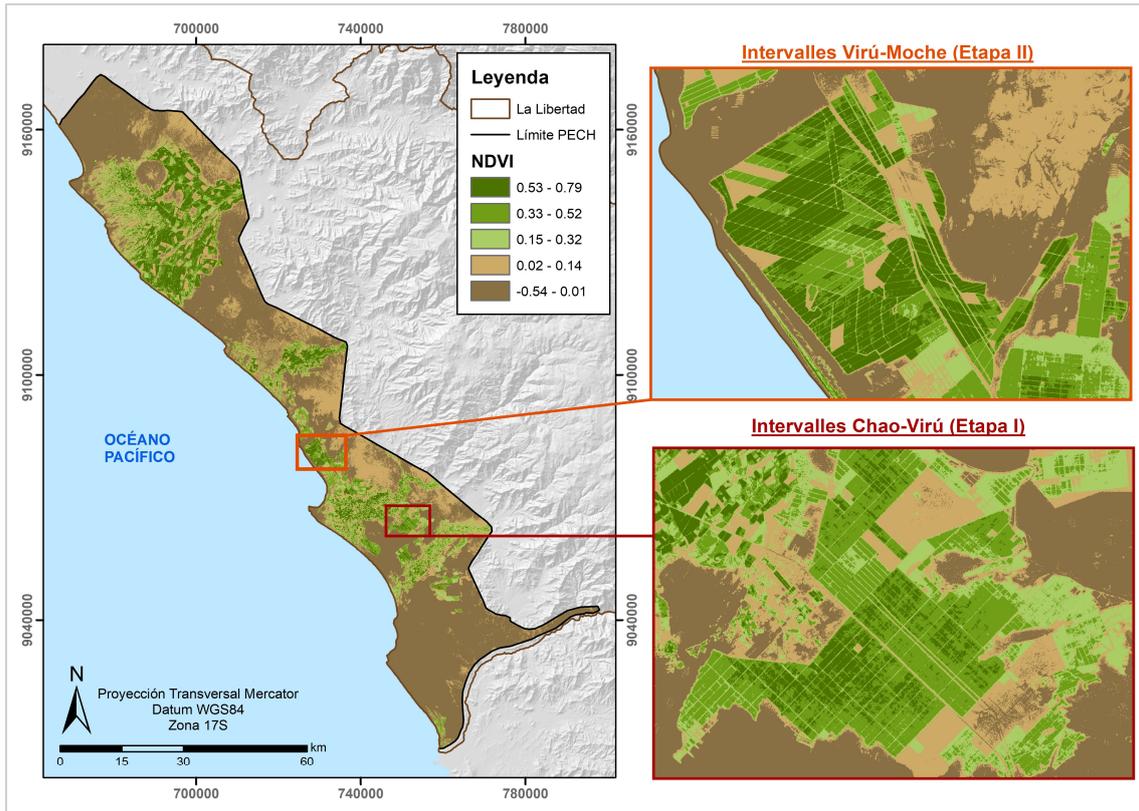
4. RESULTADOS

4.1. Demanda-oferta hídrica actual (2016)

4.1.1. Demanda hídrica agrícola: intervalles

A fin de obtener una base de datos geospaciales de área cultivada en el PECH se calculó el NDVI. En la Fig. 13 se muestra el cálculo de NDVI para una imagen Sentinel del año 2016; se determinó como umbral de vegetación el valor mínimo de 0.13 en base al análisis visual con combinación de bandas en colores falsos.

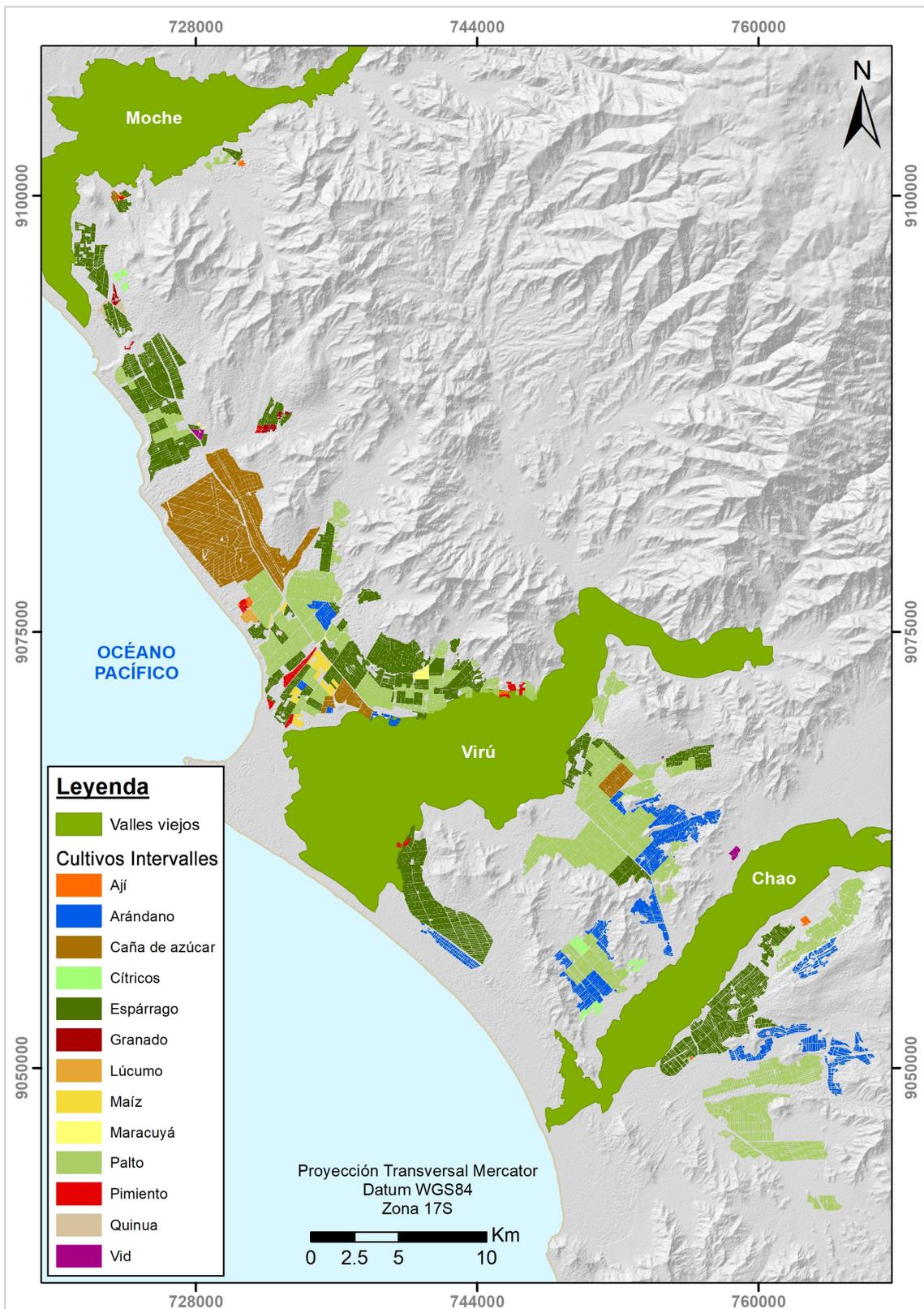
Figura 13: Cálculo del NDVI del PECH Sentinel 2B – 2 y 9 de mayo de 2016



Fuentes: Glovis USGS; Geoservidor del MINAM. Elaboración propia.

En total, se obtuvo un área cultivada estimada de 22,438 ha en los intervalles Etapas I y II (2016) lo cual corresponde con los datos estadísticos provistos por la JURP y representa un aumento de 14.6% de área agrícola en comparación con el shapefile del PECH (año 2014). En la Fig. 14 se observa la distribución espacial de cultivos en el ámbito del PECH. En las Etapas I y II predominan los cultivos de palto (8,574 ha) y espárrago (7,456 ha) cuya extensión cubre aproximadamente el 71% del área total cultivada del Proyecto. A dichos cultivos se suman la caña de azúcar y los arándanos, con 14% y 10% del área total cultivada (Tab. 12).

Figura 14: Cultivos sembrados en los intervalles del PECH Etapa I y II (intervalles 2016)



Fuentes: PECH, 2014; Geoservidor del MINAM. Elaboración Propia.

El mayor porcentaje del área cultivada de los intervalles corresponde a cuatro cultivos, mientras que los nueve cultivos restantes representan menos del 5% del área cultivada (Tab.12). En esas cifras se comprende cómo la producción agrícola en el PECH está condicionada al mercado internacional por ello predominan unos pocos cultivos altamente rentables en el mercado. Además, se debe notar que el área cultivada del PECH está en las manos de pocas empresas (alrededor de 14) las cuales se especializan en unos pocos cultivos.

Tabla 12: Cultivos del PECH Etapas I y II (intervalles 2016)

Cultivos	ETAPAS I Y II
	Área (ha)
Palto	8,574.39
Espárrago	7,456.04
Caña de azúcar	3,214.72
Arándanos	2,245.84
Maíz	222.79
Pimiento	211.60
Cítricos	197.92
Granado	61.99
Ají	58.85
Maracuyá	55.42
Vid	50.36
Lúcumo	47.70
Quinua	40.38
TOTAL	22,438.01

Fuente: JURP (2017).

Figura 15: Cultivos de palto intervalles (Virú)



Foto propia (febrero de 2017).

Si bien es importante contar con datos estadísticos de área cultivada actual, también es interesante comprender cómo ha evolucionado el área cultivada en los últimos años. Resalta el caso del espárrago cuya área sembrada ha disminuido progresivamente a partir del año 2008. Por el contrario, la superficie agrícola de la caña de azúcar ha incrementado constantemente a partir del año 1998, impulsado especialmente por la empresa Laredo. Asimismo, el área del palto ha crecido significativamente impulsado por el TLC con EE.UU (BCRP, 2013). Destaca el caso de los arándanos cuya área está teniendo un crecimiento acelerado y, en parte, están desplazando a los espárragos (Jefe división Medio Ambiente del PECH, comunicación personal, 2 de marzo de 2017).

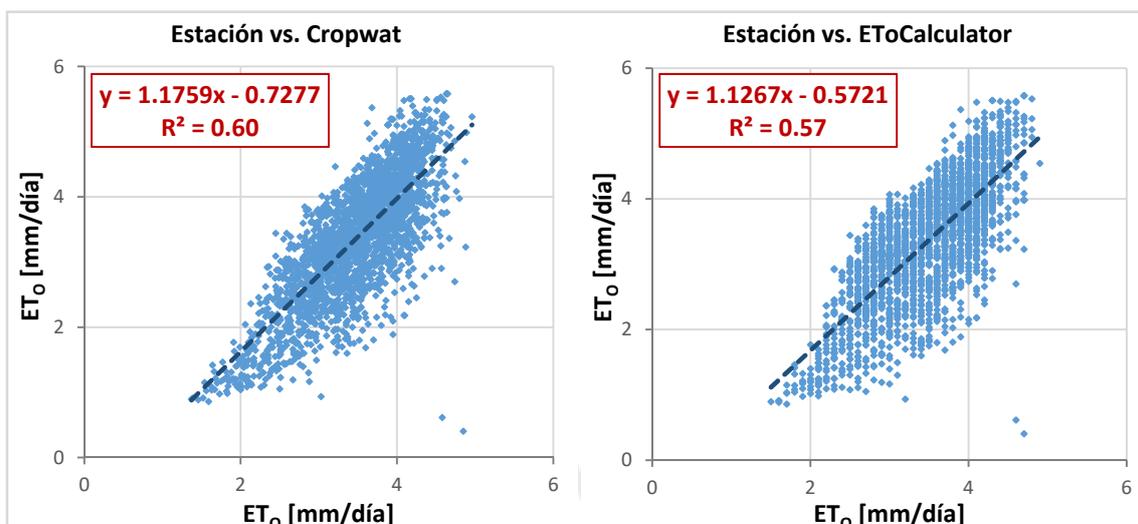
Figura 16: Cultivos de arándano, empresa Danper S.A fundo Agromorín (Virú)



Foto propia (marzo de 2018).

Previo a la presentación de los resultados de la demanda hídrica agrícola en los intervalles, se deben exponer los resultados del cálculo de ET_0 para los datos faltantes de la estación Moche (marzo 2016). Se calculó la ET_0 para la estación Moche (2010-2015) con las variables temperatura máxima y mínima con CROPWAT y ET_0 Calculator. La regresión lineal para los valores de ET_0 (2010-2015) calculados con CROPWAT y provistos por la estación presentó un coeficiente de determinación R^2 de 0.60 mientras que para ET_0 Calculator el valor de R^2 fue de 0.57 (Fig. 17).

Figura 17: Correlación entre la ET_o medida en la estación Moche y la calculada por CROPWAT y ET_oCalculator



Dado que los valores calculados con CROPWAT tuvieron ligeramente una mayor correlación con los datos reales de la estación, fue el programa elegido para completar los datos de ET_o para el mes de marzo de la estación Moche. La ET_o calculada para marzo fue de 124 mm y el promedio diario fue de 4.02 mm, siendo el mes con mayor ET_o en el año 2016, seguido de enero con 121 mm.

Tras obtener una base de datos completa de ET_o para el año 2016 se procedió a calcular la demanda hídrica agrícola de los intervalos con CROPWAT. En la Tab. 13 se presenta la demanda hídrica agrícola neta y bruta calculada con CROPWAT para los cultivos del PECH al año 2016.

Tabla 13: Demanda hídrica agrícola del PECH, según estación meteorológica

Cultivos	DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA m ³ /ha					
	San Carlos (Chao)		San José (Virú)		Moche	
	Neta	Bruta*	Neta	Bruta	Neta	Bruta
Caña de azúcar	-	-	13,805	17,256	13,730	17,162
Arándanos**	13,125					
Palto	12,580	15,725	10,183	12,728	10,236	12,795
Espárrago	12,074	15,092	9,728	12,160	9,800	12,250
Cítricos	11,003	13,753	8,774	10,967	8,901	11,126
Maracuyá**	9,775					
Vid	8,957	11,196	7,294	9,117	7,046	8,807
Granada**	7,250					
Lúcumo**	6,000					
Ají	5,278	6,597	4,247	5,308	4,343	5,428
Pimiento	-	-	4,247	5,308	4,343	5,428
Quinua	-	-	-	-	4,306	5,382
Maíz	-	-	3,738	4,672	3,574	4,467

*Eficiencia de riego de 80%

**Fuentes: Uribe Lescano, 2016; Chacón Agreda, 2016

“-”: no habían esos cultivos dentro del área de influencia de las estaciones

La demanda hídrica neta de los cultivos de los intervalles oscila entre 3,500 m³/ha (maíz) y 13,800 m³/ha (caña de azúcar) (Tab. 13). Adicionalmente, se puede observar cómo la demanda hídrica fluctúa en relación al área de influencia de las estaciones meteorológicas. La demanda hídrica de los cultivos dentro del área de influencia de la estación San Carlos es la más elevada, seguida por el área de influencia de la estación Moche y por último la estación San José. Ello es una consecuencia directa de los registros de ET_o en cada estación meteorológica. Por otro lado, la demanda hídrica bruta de los cultivos (eficiencia de riego combinada de 80%) oscila entre 4,400-17,300 m³/ha. Al reducir la eficiencia, la demanda hídrica por cultivo incrementa en un 20%.

En total, la demanda hídrica agrícola de los intervalles del PECH – Etapas I y II (2016) asciende hasta aproximadamente 304 hm³ (Tab. 14). La demanda hídrica se reparte de manera casi equitativa entre ambas Etapas.

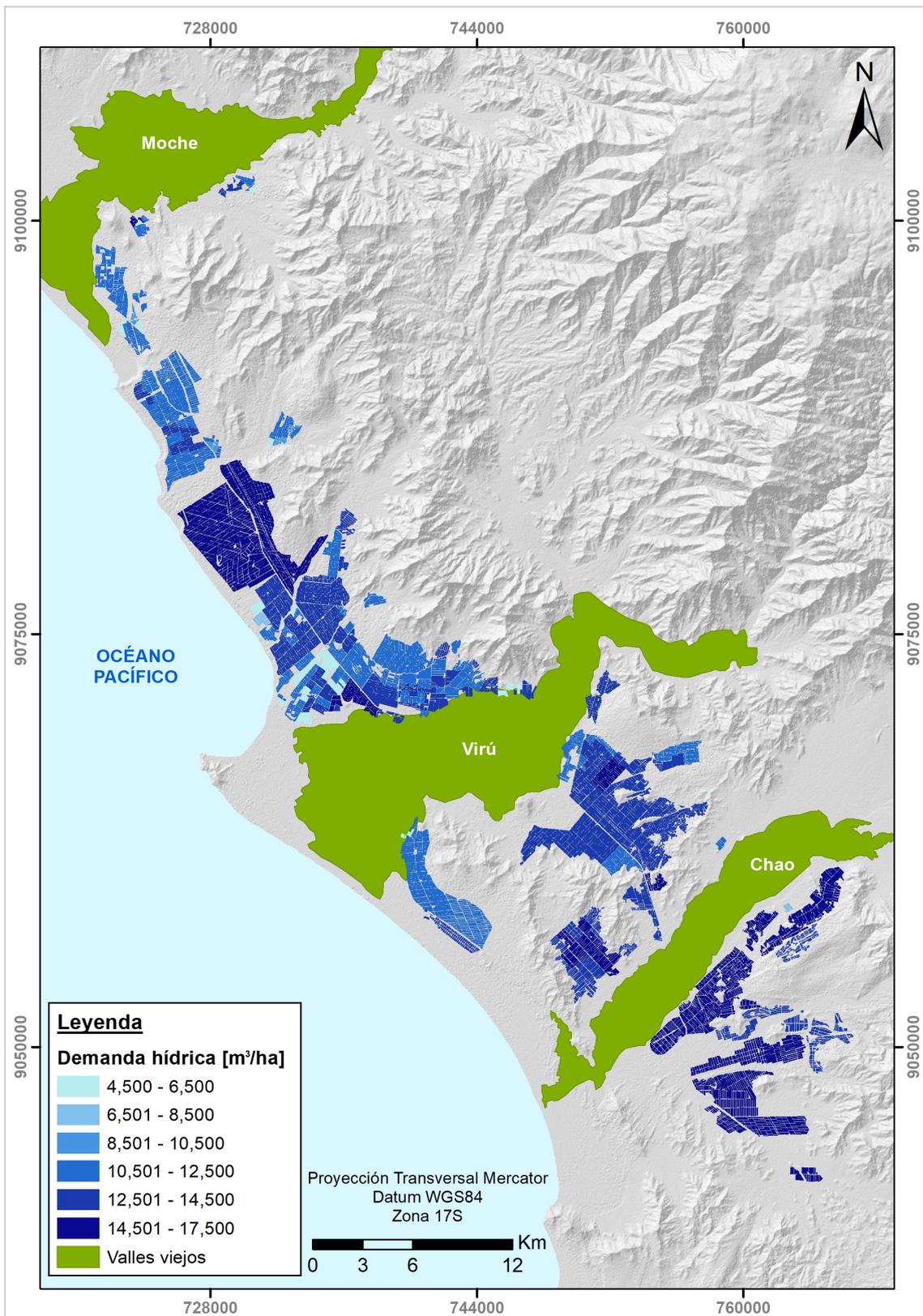
Tabla 14: Demanda hídrica agrícola bruta del PECH por Etapa (intervalles)

Etapa	Intervalles	Área [ha]	Demanda Neta [hm ³]	Demanda Bruta* [hm ³]
I	SANTA-CHAO	4,273.68	51.65	64.57
	CHAO-VIRU	6,689.47	69.70	87.12
II	VIRU-MOCHE	11,474.86	122.07	152.52
TOTAL		22,438.01	243.42	304.22

*Eficiencia de 80%
Elaboración propia.

Los resultados fueron digitalizados en la Fig. 18 donde se puede apreciar la distribución espacial de la demanda hídrica en los intervalles. Como ha sido explicado previamente, las empresas agrícolas dentro del PECH se especializan a unos pocos cultivos con una amplia extensión por cada uno. Es así como la distribución espacial de la demanda hídrica varía en función a la ubicación de los fundos agrícolas. Como se observa en la Fig. 18 en los intervalles entre Virú y Moche se presenta la mayor demanda hídrica la cual corresponde a la ubicación de la empresa Laredo S.A. cuyo cultivo principal es la caña de azúcar. Por otro lado, en la zona sur del Proyecto, al margen izquierdo del valle de Chao, se concentra una alta demanda hídrica lo que corresponde al cultivo de palto por las empresas Avo Perú S.A, Minera San Simón S.A. y Arato Perú.

Figura 18: Demanda hídrica agrícola del PECH (intervalles 2016)



Fuentes: CROPWAT (FAO), PECH, 2014; Geoservidor del MINAM. Elaboración Propia.

A fin de validar los resultados obtenidos con CROPWAT se comparó la demanda hídrica agrícola calculada con los valores reales de volumen de agua suministrada al Proyecto. Dichas cifras se encuentran a nivel de sector, por ende se calculó la demanda a ese nivel (Anexo 9). La siguiente tabla muestra que los resultados finales de demanda hídrica agrícola calculados en la presente investigación se aproximan a los valores reales del PECH de suministro de agua para los intervalles. Si bien los valores no son exactos, se debe incidir que los insumos para CROPWAT han sido referenciales de la FAO y por ello se acepta un margen de error.

Tabla 15: Comparación de resultados de demanda hídrica agrícola por sector (intervalles)

Sector	Área [ha]	Cálculo propio		PECH
		Demanda Neta [hm ³]	Demanda Bruta* [hm ³]	Volumen suministrado [hm ³]
1	4,273.68	51.65	64.57	64.43
2	1,315.95	14.96	18.69	22.09
3	5,373.52	54.74	68.43	62.76
4	5,018.59	48.43	60.56	54.30
5	6,456.27	73.64	91.96	99.95
TOTAL	22,438.01	243.42	304.22	303.53

*Eficiencia 80%

Fuente: PECH, 2017. Elaboración propia

4.1.2. Demanda hídrica agrícola: valles viejos

En los valles viejos se realiza una agricultura de pequeña y mediana escala, por ende, las parcelas son de menor dimensión, hay mayor diversificación de cultivos y la eficiencia de riego es menor. Los cultivos son principalmente transitorios, y se realiza la rotación de cultivos tras finalizar la campaña agrícola. Entre los cultivos sembrados en los valles se encuentran hortalizas, tubérculos, leguminosas, cereales y frutales. Según las intenciones de siembra del año 2016/2017, se estima una variedad aproximada de 65 cultivos (Anexo 10). En los valles, la producción es principalmente para el mercado local o nacional y en algunos casos se vende la producción a las empresas agroindustriales.

En los valles viejos se ha desarrollado tradicionalmente la actividad agrícola condicionada a la época de avenida de los ríos, a las filtraciones de las lluvias y a la explotación de puquios. Sin embargo, desde el desarrollo del PECH y el suministro de agua regulada a través del Canal Madre ha habido una expansión en su área cultivada. Por ello, en la actualidad se distribuye agua regulada del Santa y no regulada de las propias cuencas.

Para el año 2016 el volumen total suministrado de agua en los valles viejos fue de 292 hm³, de ese total el 73.7% fue del río Santa y el 26.3% restante de las cuencas propias lo cual significa que la agricultura en los valles viejos depende altamente del sistema Chavimochic-Santa (Tab. 16). En relación a cada valle, el de Virú tiene la mayor demanda hídrica total y la mayoría de esta es cubierta por el agua del Santa. El valle de Moche cuenta con una demanda hídrica de 107 hm³ con una mayor demanda cubierta por el Santa que de la propia cuenca. Finalmente, el valle de Chao presenta una demanda de casi 70 hm³ la cual es satisfecha por el Santa. Resalta el valle de Moche el cual presenta la mayor demanda hídrica por hectárea

(13,710 m³/ha), mientras que la de los valles de Chao y Virú se encuentran alrededor de los 11,100 m³/ha.

Tabla 16: Volumen de agua suministrada en los valles viejos (2016)

Valles	Área [ha]	Volumen anual suministrado [hm ³]			Suministro transferencia Santa [%]
		Canal Madre Río Santa	Cuenca Propia	TOTAL	
Chao	6,045.92	66.97	-	66.97	100.00
Virú	10,566.2	85.90	32.29	118.19	72.68
Moche	7,809.91	62.47	44.60	107.07	58.35
TOTAL	24,422.03	215.34	76.89	292.23	Promedio 77.01

Fuentes: PECH, 2017; ANA-DARH, 2018.

Elaboración propia.

En la Tab. 17 se presenta la demanda hídrica agrícola total del PECH considerando los intervalles y los valles viejos. El área total cultivada dentro del límite del Proyecto al año 2016 es de aproximadamente 46,860 ha y la demanda hídrica agrícola total calculada fue de aproximadamente 596 hm³. De esta, el 87.1% es cubierta por el río Santa y el 12.9% restante por las cuencas propias de los valles viejos.

Tabla 17: Demanda hídrica agrícola total del PECH (2016)

Zona	Área [ha]	Demanda hídrica anual (hm ³)		
		Santa	Cuenca Propia	TOTAL
Intervalles*	22,438.01	304.22	-	304.22
Valles viejos	24,422.03	215.34	76.89	292.23
TOTAL	46,860.04	519.56	76.89	596.45

*Cálculo propio de demanda hídrica

Fuente: ANA-DARH (2018). Elaboración propia.

4.1.3. Balance hídrico

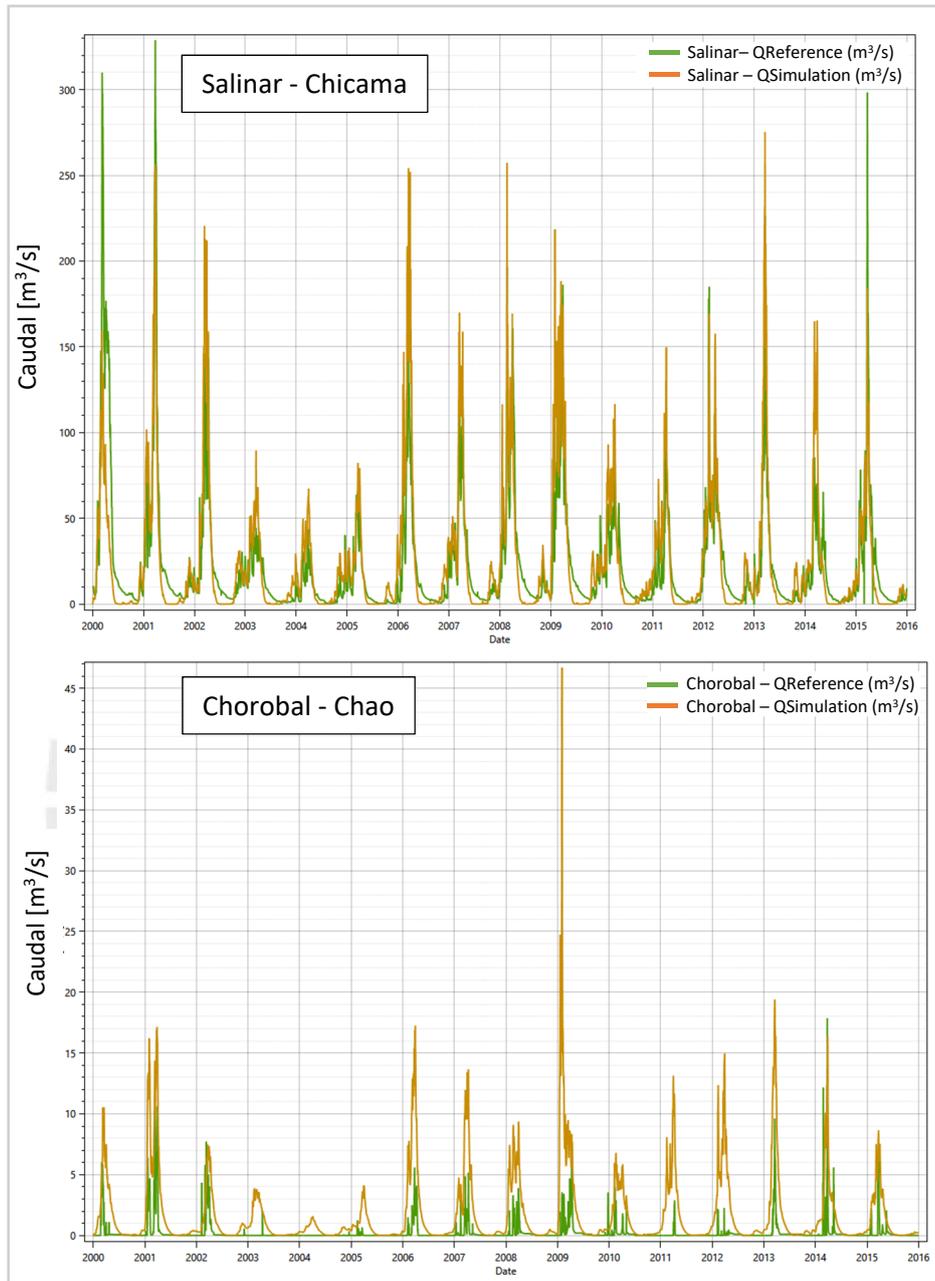
A continuación se presenta los resultados del balance actual demanda hídrica agrícola-oferta hídrica. En primer lugar se presentan los resultados del balance demanda hídrica agrícola total intervalles y valles viejos (insatisfecha por sus propios ríos) en relación a la oferta hídrica del Santa. En segundo lugar, el balance para las cuencas del PECH en base al modelamiento hidrológico realizado con RS MINERVE.

Valles viejos

El modelamiento hidrológico de las cuencas de los valles viejos calibrado demostró un buen rendimiento de los caudales bajos y una representación adecuada del periodo de avenidas y picos en las descargas. Sin embargo, tras la calibración, no todos los caudales simulados presentaron altos coeficientes de eficiencia Kling-Gupta lo cual demuestra una baja/moderada capacidad de simulación del modelo. Mientras que las subcuencas calibradas con las estaciones Salinar y Tambo (río Chicama) muestran altos coeficientes de 0.86 y 0.82 en las subcuencas de las estaciones Río Sifón, Quirihuac, Chorobal y Huamanzaña los coeficientes estuvieron por debajo del umbral crítico (~0.7) con 0.54, 0.39, -2.72 y 0.40 (Fig.

19). Se omitió los resultados en la zona de calibración para la estación Chorobal debido al bajo rendimiento.

Figura 19: Resultados de calibración y validación estaciones Salinar y Chorobal



Nota: las series en color verde son los caudales observados y en anaranjado los simulados.

En base al modelamiento actual (2016) de los caudales de los principales ríos del PECH y a la demanda hídrica agrícola de los valles viejos, se obtuvo un balance hídrico negativo para estos. En la Tab. 18 se presenta el porcentaje de la demanda hídrica agrícola de los valles viejos que, en base al modelamiento, es cubierta por la oferta hídrica de los ríos y el déficit hídrico anual.

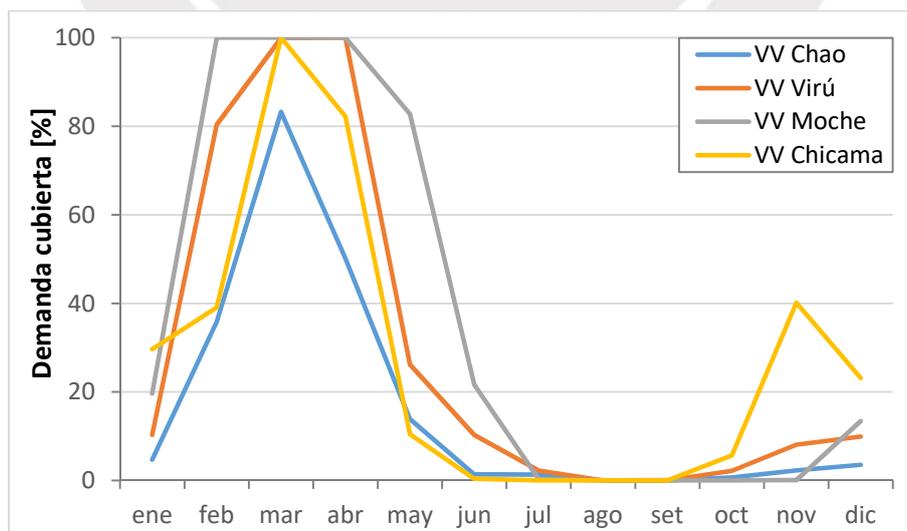
Tabla 18: Demanda hídrica cubierta por el Santa y déficit hídrico (valles viejos año 2016)

Valles viejos	Déficit hídrico [hm ³]	Demanda cubierta [%]
Chao	55.37	16.42
Virú	86.23	29.13
Moche	80.29	36.49
Chicama	365.28	27.56

Fuente: Elaboración Propia.

Los cuatro valles viejos presentan un importante déficit hídrico anual, si se considera el porcentaje de demanda cubierta, el valle de Moche cuenta con la mayor cobertura (36.5%) y el valle de Chao con la menor (16.4%). Sin embargo, en términos de volumen el valle de Chao tiene un déficit de aproximadamente 55.3 hm³ mientras que el déficit del valle de Chicama asciende hasta aproximadamente 365.3 hm³. Por otro lado, en la Fig. 20 se observa cómo varía el déficit hídrico a nivel mensual. En los valles de Chao y Chicama, todos los meses menos marzo y abril se encuentran en un nivel crítico de suministro propio de oferta hídrica (cobertura menor a 50% de la demanda hídrica). En el valle de Virú la satisfacción de la demanda hídrica se extiende entre febrero y abril y en moche, entre febrero y mayo. Ello demuestra una alta dependencia del aporte hídrico del Santa para el desarrollo agrícola en los valles.

Figura 20: Porcentaje de demanda cubierta de los valles viejos por la oferta hídrica de sus ríos (año 2016)



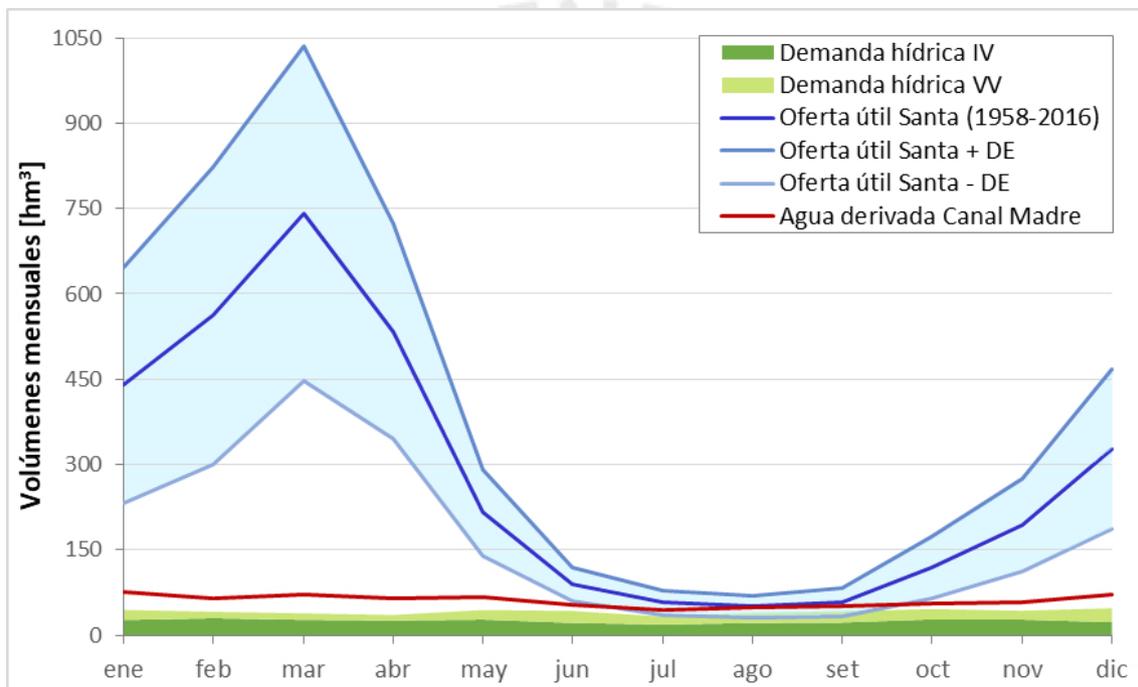
Fuente: Elaboración Propia.

Nota: VV: valle viejo

Total: Intervalles y valles viejos

El balance hídrico integrado demanda hídrica intervalles y valles viejos - oferta del Santa presenta un marcado superávit hídrico durante la época húmeda (Fig. 21). Por el contrario, durante la época seca especialmente en el mes de agosto, el Canal Madre deriva casi el total de oferta hídrica útil promedio de Santa. Si se considera la variabilidad en la oferta útil del Santa, durante la época de estiaje específicamente en julio, agosto y setiembre se estaría derivando por el Canal Madre aproximadamente 19%, 51% y 59% más agua que la oferta mínima útil. Ello generaría un déficit hídrico de aproximadamente 7.4 hm³ y 9.4 hm³ en la satisfacción de la demanda hídrica agrícola conjunta de los intervalles y valles viejos.

Figura 21: Balance hídrico actual para los intervalles y valles viejos considerando el caudal derivado por el Canal Madre, la oferta útil mensual promedio del Santa y su variabilidad (año 2016)



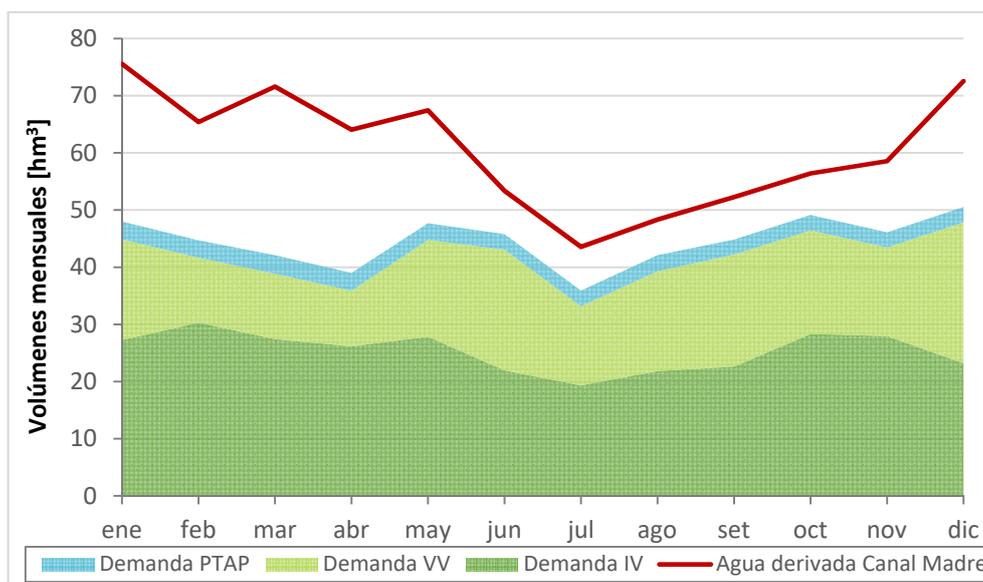
Nota: el área sombreada de color celeste indica el rango de variabilidad de la oferta útil del Santa.

IV: intervalles, VV: valles viejos.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Fig. 22 se observa a detalle la demanda hídrica de los intervalles y la de los valles viejos (cubierta por el agua del Santa) en relación al volumen derivado por el Canal Madre. En la actualidad (2016), el balance hídrico es positivo ya que la suma de la demanda hídrica agrícola de los intervalles y valles viejos es menor que el volumen de agua captado por el Canal Madre. Sin embargo, a nivel mensual el superávit hídrico no es uniforme. En promedio, en la época húmeda el superávit hídrico es de 26 hm³ y durante la época de estiaje disminuye hasta aproximadamente 12 hm³, alcanzando el valor más bajo en agosto (9 hm³). Además, se incorporó la demanda de agua cruda de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) y como se observa en la Fig. 22 aún persiste un importante superávit hídrico de agua derivada del Santa.

Figura 22: Balance hídrico actual para los intervalles y valles viejos considerando el caudal derivado por el Canal Madre (año 2016)



Nota: IV: intervalles, VV: valles viejos.

Fuente: PECH (2018). Elaboración Propia.

4.2. Demanda-oferta hídrica futura (2030 y 2050)

Bajo el enfoque de la investigación, resulta importante evaluar conjuntamente la demanda y oferta hídrica de los intervalles y valles viejos, y cómo podrían evolucionar temporalmente (2030 y 2050) bajo diferentes escenarios. Se debe tener presente que para la futura demanda hídrica agrícola-oferta hídrica se ha trabajado con proyecciones y que no son predicciones, sino posibles trayectorias según un rango de supuestos basados en tendencias actuales y posibles futuros (IPCC, 2001).

4.2.1. Intervalles

Futura demanda hídrica agrícola

Como parte de las metas globales del PECH se tenía previsto la incorporación de 46,665 ha de áreas nuevas de cultivo en las Etapas I y II. Sin embargo, en la actualidad sólo se han incorporado aproximadamente 22,438 ha (48% de las Etapas I y II). Por otro lado, la meta para la Etapa III es de 19,410 ha de tierras nuevas. Si bien en la actualidad no se han alcanzado esas metas, al evaluar la futura demanda hídrica del Proyecto se debe considerar la expansión agrícola.

En base al análisis de las tendencias actuales del mercado, desarrollo agrícola y la opinión de expertos -conocida a partir de las entrevistas- se formularon escenarios de posibles cultivos a ser sembrados y su extensión. Es así como se realizó una valoración de los cultivos principales del PECH para determinar su importancia futura (Tab. 19).

Tabla 19: Valoración de cultivos del PECH según entrevistas realizadas (N=5)

Cultivo	Tendencias actuales			
	% área sembrada	Evolución de área sembrada	Valoración de especialistas	Precio de exportaciones
Palto	38	++	++	+
Espárrago	33	-	+	+
Caña de Azúcar	14	+	+	-
Arándano	10	++	++	++

++	Alto
+	Mediano
-	Bajo

En base a las entrevistas realizadas, se planteó que de seguir con el lineamiento actual, en un futuro habría predominantemente frutales y en menor medida hortalizas dado su bajo valor comercial. Habría una mayor inclinación hacia los arándanos ya que actualmente se proyecta su expansión en más de 1,600 ha. Por otro los arándanos presentan ventajas frente a otros cultivos (Gerente JURP & Subgerente Operaciones Agrícolas Danper S.A, comunicación personal, 1 de marzo de 2018). Los arándanos son perennes y están alrededor de 12 años en el campo, además, luego de sembrarlos se pueden volver a instalar en el terreno. Eso marca la diferencia con otros cultivos como el espárrago que debe ser rotado tras finalizar su siembra.

Por otro lado, en base al valor actual de las exportaciones nacionales se determinó la potencial importancia futura de cada cultivo. El precio de las exportaciones de azúcar al año 2016 era de 760 \$/t; para la palta, 2,347.95 \$/t; los espárragos (en conserva, frescos o refrigerados), entre 3,300-3,500 \$/t y los arándanos, con un valor claramente superior de 8,690 \$/t (SUNAT, 2018). Dichos datos sustentan la idea de que en un futuro predominaría el cultivo de arándanos. El caso de la caña de azúcar es peculiar y se proyecta su siembra especialmente en la Etapa III dada la presencia de grandes empresas (p. ej. Grupo Gloria) ya dedicadas a ese cultivo en la zona.

Sobre la base de la valoración de los cultivos se estableció el porcentaje del área futura dedicada por cultivo para cada escenario (Tab. 20). Para el E1 se considera un 80% del área cultivada dedicada a cultivos de altos requerimientos hídricos y el 20% restante a cultivos con bajos requerimientos hídricos. Para el E2 se considera un 60% de área con cultivos de altos requerimientos hídricos y un 40% con bajos requerimientos hídricos entre ellos la tuna – cultivo propuesto por especialistas durante las entrevistas. Por último en el E3 se considera un 70% de desarrollo en bajos requerimientos hídricos y un 30% en altos requerimientos hídricos. Se debe notar que para los dos horizontes temporales (2030 y 2050) se asume la misma extensión (%) por cultivo principalmente debido a la vida útil de los cultivos y asumiéndose que se mantiene uniforme la demanda de los cultivos hasta el 2050. Además, no se consideraron ciertos cultivos dada su relativa baja importancia actual en el PECH (~1.5% del área total cultivada).

Tabla 20: Relación de demanda hídrica agrícola bruta por cultivo y área cultivada por escenario (2030 y 2050)

Cultivos	Demanda hídrica bruta [m ³ /ha]	Área cultivada 2030 y 2050 [%]		
		E1	E2	E3
Caña de azúcar	17,209	15	12	n.a
Palto	13,749	20	18	8
Espárrago	13,167	10	10	n.a
Arándanos	13,125	35	20	12
Cítricos	11,949	n.a	n.a	n.a
Maracuyá	9,775	n.a	n.a	n.a
Vid	9,707	n.a	n.a	5
Granada	7,250	n.a	n.a	5
Lúcumo	6,000	n.a	n.a	n.a
Ají	5,778	5	5	15
Quinua	5,382	n.a	n.a	n.a
Pimiento	5,368	5	5	15
Tuna	5,000	n.a	10	15
Maíz	4,570	10	20	25

	Mayor demanda hídrica
	Demanda hídrica moderada
	Menor demanda hídrica

n.a: no se consideran esos cultivos

En función a los diferentes supuestos por escenario se calculó la futura demanda hídrica agrícola de los intervalles (Tab. 21). En el E1 “*todo sigue igual*” se alcanza la mayor demanda hídrica agrícola bruta, ascendiendo hasta aproximadamente 864 hm³ al año 2050 (incremento de 184% en relación al año 2016). En el E2 “*adaptación técnica*” la demanda hídrica incrementa de una manera menos significativa (+92%) y alcanza aproximadamente los 587 hm³ (2050). Por último en el E3 “*transformación socio-política*” la demanda hídrica tiene un incremento bajo y moderado hasta alcanzar 406 hm³ (+34%) en el año 2050.

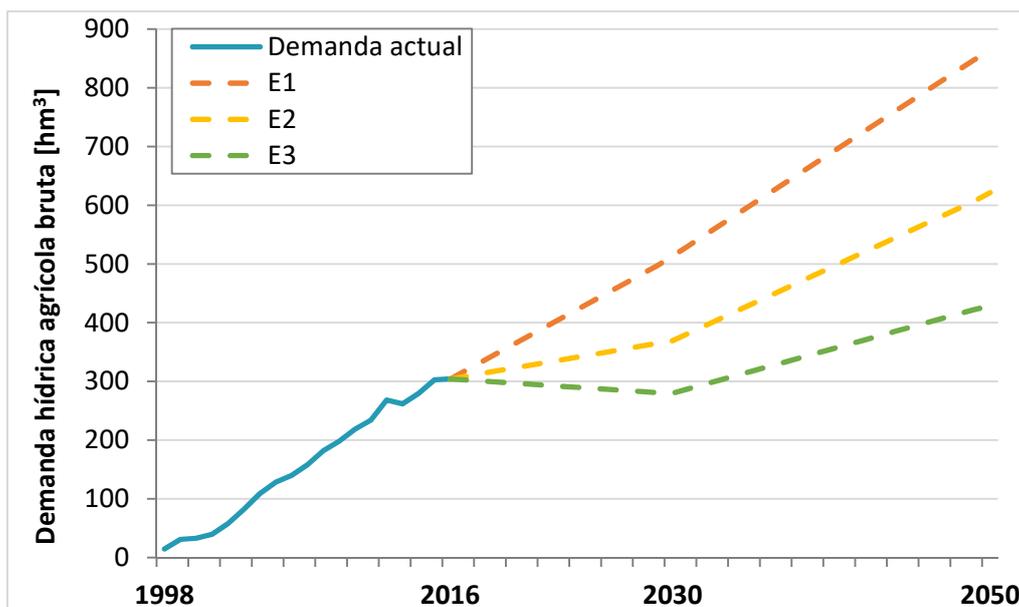
Tabla 21: Proyecciones de demanda hídrica agrícola bruta (intervalles)

Demanda hídrica agrícola bruta [hm ³]						
Demanda actual (2016)	E1: Todo sigue igual		E2: Adaptación técnica		E3: Transformación socio-política	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
304.22	513.51	864.10	348.88	587.07	265.28	406.12

Fuente: Elaboración Propia.

En la Fig. 23 se grafica las proyecciones de la demanda hídrica agrícola bruta de intervalles según escenario y horizonte temporal. Se observa que a mediano plazo (2050) ningún escenario lleva a una disminución en la demanda hídrica agrícola. A corto plazo (2030), en el E3 la demanda hídrica agrícola bruta es menor que la actual principalmente debido a la siembra de cultivos con baja demanda hídrica. Sin embargo, a mediano plazo (2050) asciende la demanda hídrica agrícola ya que incrementa la expansión agrícola. Además, el rango de la proyección de demanda hídrica agrícola para el año 2050 es de aproximadamente 458 hm³.

Figura 23: Proyecciones de demanda hídrica agrícola bruta de intervalles



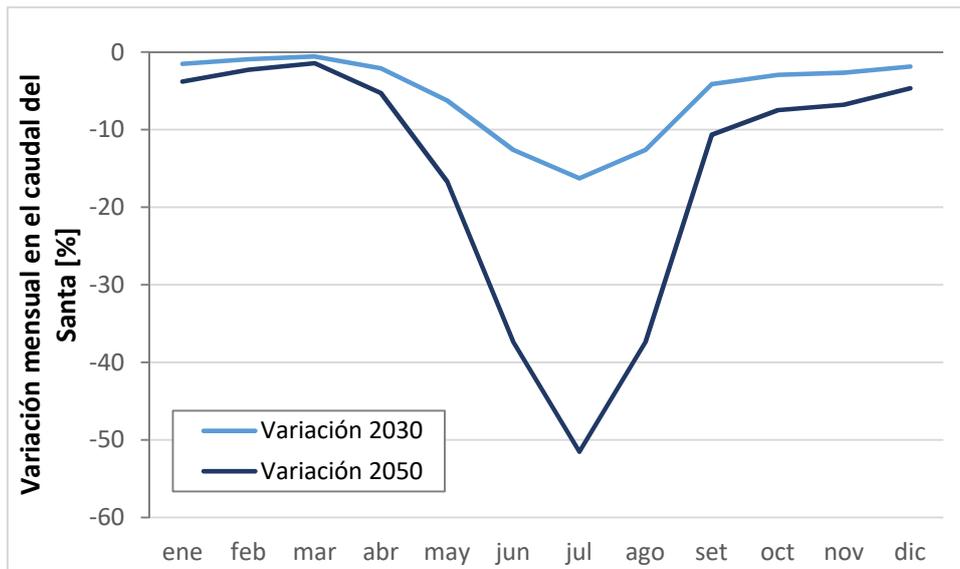
Fuente: PECH (2017). Elaboración Propia.

Futura oferta hídrica del Santa

La disponibilidad hídrica del Santa es la principal fuente para el PECH tanto para los intervalles como para los valles viejos. A fin de realizar el balance hídrico futuro del PECH se debió recurrir a proyecciones en la oferta hídrica del Santa pues es un río que actualmente evidencia cambios en su hidrología (Mark et al., 2010; Baraer et al., 2012; Bury et al., 2013).

Los resultados de la futura oferta hídrica demuestran una tendencia de disminución en el caudal futuro del río Santa en la estación Condorcero en todos los meses de los años 2030 y 2050. Sin embargo, la variación en el caudal se hace más pronunciada en la época seca (mayo-agosto), alcanzando el mayor pico en el mes de julio (-16.3% año 2030 y -51.5% año 2050). Del mismo modo, en el año 2030 la variación es menos significativa (aproximadamente -5.4% anual) mientras que en el año 2050 alcanza un promedio anual de -15.5% (Fig. 24). Sin embargo, se debe resaltar que persisten altas incertidumbres en la futura disponibilidad hídrica del Santa en relación a tendencias en precipitación, desarrollo glaciar y demanda hídrica.

Figura 24: Variación mensual en el caudal del Santa estación Condorcerro al año 2030 y 2050



Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2. Valles viejos

Futura demanda hídrica agrícola

Los resultados de la proyección de la demanda hídrica agrícola bruta de los valles viejos se presentan en la Tab. 22. Al año 2030, tanto la demanda hídrica proyectada en los E1 y E2 es superior a la demanda actual, mientras que en el E3 hay una disminución (-18%). Hacia el año 2050, hay un mayor contraste en las trayectorias de demanda hídrica agrícola. Bajo el E1 la demanda hídrica total de los valles viejos incrementa en un 30% al año 2050. En contraste, en el E2 la demanda disminuye ligeramente (-4% al año 2050) y, en el E3 disminuye significativamente (-41%), alcanzando su valor más bajo (~515 hm³). Así, el E3 demuestra que una combinación entre una ligera expansión en el área agrícola en los actuales valles (Chao, Virú y Moche) junto con una mayor eficiencia en el riego, dan como resultado una disminución significativa en la demanda hídrica agrícola bruta

Tabla 22: Proyecciones de demanda hídrica agrícola bruta (valles viejos)

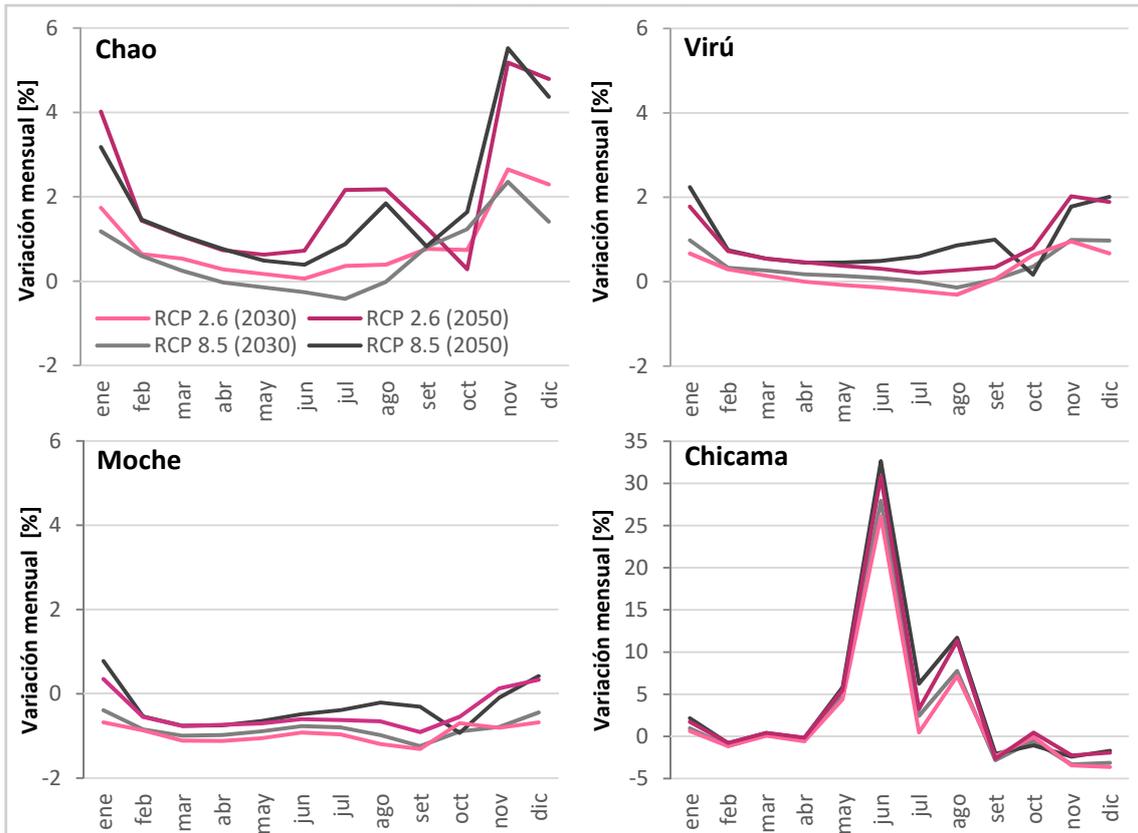
Valles viejos	Demanda hídrica agrícola bruta [hm ³]						
	Demanda actual (2016)	E1: Todo sigue igual		E2: Adaptación técnica		E3: Transformación socio-política	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
Chao	66.97	74.58	78.07	63.39	57.53	52.99	37.17
Viru	118.19	119.12	114.06	101.26	84.04	89.34	60.03
Moche	107.08	115.17	117.10	97.89	86.29	83.32	57.55
Chicama	575.41*	719.54	820.80	611.61	604.80	485.66	360.00
TOTAL	867.65	1028.41	1130.03	874.15	832.66	711.31	514.75

*Dato obtenido de la ANA-Dirección de Administración de Recursos Hídricos (DARH) (2018). Elaboración Propia.

Futura oferta hídrica de los valles viejos

Las dos variables determinantes para las proyecciones de caudal de los ríos del PECH fueron la temperatura y precipitación; sin embargo, hay otros factores como humedad, cobertura vegetal, suelo, etc. que influyen y que no han sido incorporadas en el modelamiento. Los cambios climáticos proyectados para ambos escenarios son drásticos e influyen en los caudales de los ríos del PECH, sin embargo, la respuesta de estos es diferenciada (Fig. 25). En efecto, los resultados del modelamiento hidrológico futuro no demuestran tendencias de respuesta de los caudales de los ríos del PECH ante cambios meteorológicos.

Figura 25: Variación mensual en los caudales de los ríos del PECH bajo los escenarios RCP2.6 y 8.5 (2030 y 2050)



Fuente: Elaboración Propia.

En los ríos Chao, Virú y Moche se observa una mayor variación en el caudal durante la época húmeda y al año 2050 tanto para el RCP2.6 y 8.5. Por el contrario, en la época seca el caudal de cada río varía de manera distinta. El caudal del río Chao tiende a incrementar ligeramente durante la época de estiaje, siendo este más pronunciado al año 2050 y bajo el RCP2.6. Por otro lado, la variación en el caudal del río Moche es más pronunciada bajo el RCP8.5 año 2050. El río Moche responde de manera distinta y su caudal tiene a disminuir especialmente bajo el RCP2.6. Finalmente, destaca el caso del río Chicama cuyo caudal incrementa drásticamente durante la época de estiaje y, contrariamente, tiende a disminuir durante la época húmeda.

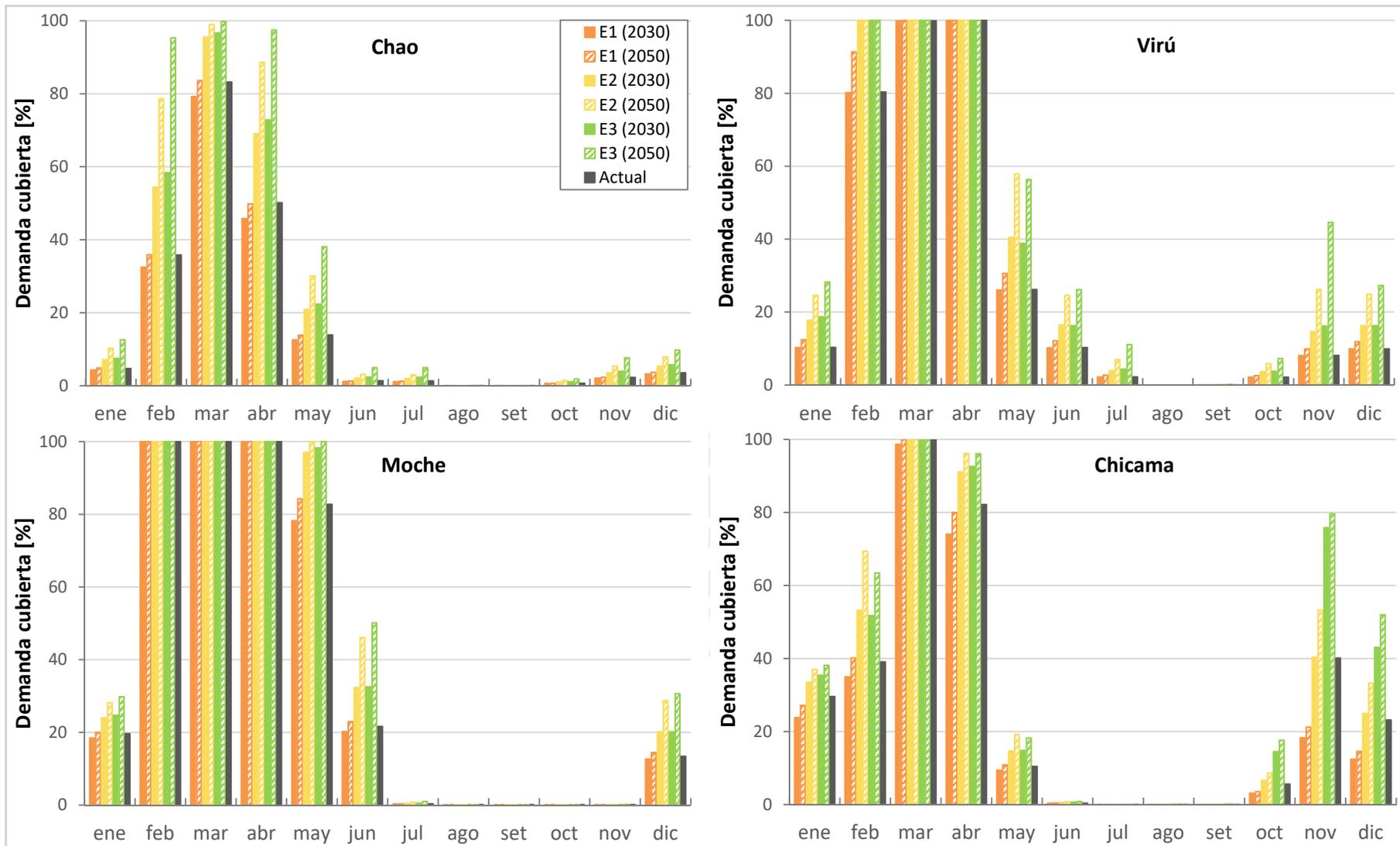
4.2.3. Balance hídrico futuro

Valles viejos

Los resultados del balance hídrico futuro (2030 y 2050) de los valles viejos realizado con RS MINERVE se encuentran graficados en la Fig. 26 donde se observa el porcentaje de demanda hídrica agrícola satisfecha por la oferta hídrica de los principales ríos para cada escenario y horizonte temporal. De manera general, para los cuatro valles viejos, en ningún escenario ni horizonte temporal hay una total cobertura de la demanda hídrica. Ello se debe a la alta estacionalidad de los ríos costeros, cuyo bajo caudal durante la época seca genera un déficit hídrico severo especialmente entre julio-noviembre. No obstante, se debe subrayar que en los valles de Chao y Chicama incrementa la cobertura de la demanda hídrica durante los meses húmedos lo cual significa una menor dependencia en el agua del Santa. A escala temporal, en comparación con el balance hídrico actual (2016), bajo el E3 incrementa drásticamente la demanda hídrica satisfecha, especialmente al año 2050.



Figura 26: Porcentaje de demanda cubierta balance hídrico valles viejos, según escenario y horizonte temporal



Por otro lado, en la Tab. 23 se presenta la demanda hídrica agrícola satisfecha anualmente para los dos horizontes temporales y tres escenarios. En primer lugar, en el E1 al año 2030 incrementa el déficit hídrico para todos los valle, siendo más pronunciado en el valle de Chicama. Al año 2050, el déficit disminuye como consecuencia del mayor aumento en la precipitación bajo el RCP8.5. En segundo lugar, en el E2 para todos los valles tanto a corto como mediano plazo disminuye el déficit hídrico en relación al año base (2016). En tercer lugar, en el E3 se acentúa un poco más la disminución en el déficit hídrico lo cual significa que un mayor porcentaje de la demanda hídrica es cubierta por la oferta.

Tabla 23: Porcentaje de demanda hídrica anual cubierta según horizonte temporal y escenario (valles viejos)

Valles viejos	Demanda hídrica cubierta [%]						
	Actual* (2016)	E1		E2		E3	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
Chao	16.42	15.23	16.45	21.77	27.29	22.78	31.04
Virú	29.13	29.08	31.15	34.45	39.27	34.55	41.77
Moche	36.49	35.83	36.84	39.52	42.00	39.70	42.65
Chicama	27.56	22.93	24.84	30.44	34.84	35.74	38.86

*Resultados del balance hídrico con RS MINERVE. Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se presenta el déficit hídrico anual en los valles viejos donde se observa que Chao alcanza el menor déficit hídrico anual (aprox. 25 hm³) en el año 2050-E3. Así mismo, en el E3-2050 se reduce el déficit hídrico de todos los valles en aproximadamente un 50% del valor actual (2016). Por otro lado, en promedio en el E1-2030 es donde se presenta el mayor déficit hídrico en hm³, siendo el valle de Chicama el valle con mayor déficit (504 hm³). Es importante subrayar, que dicho déficit es anual y como se observa en la Fig. 26 gran parte de este corresponde a la época de estiaje.

Tabla 24: Déficit hídrico anual en los valles viejos según horizonte temporal y escenario (valles viejos)

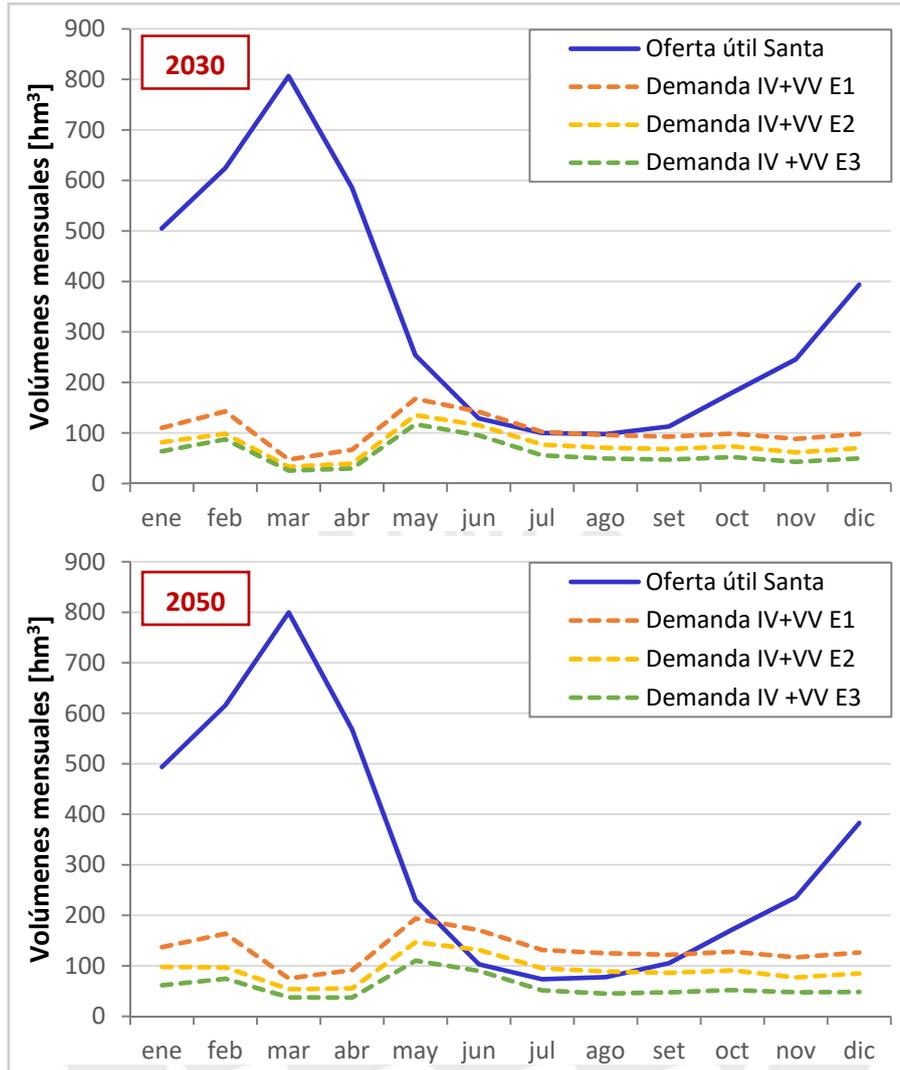
Valles viejos	Déficit hídrico [hm ³]						
	Actual* (2016)	E1		E2		E3	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
Chao	55.37	62.61	64.59	48.85	41.05	40.15	24.78
Virú	86.23	86.93	80.71	67.85	51.00	60.07	35.59
Moche	80.29	86.25	86.14	70.72	60.63	61.69	43.24
Chicama	365.28	504.65	486.86	368.05	327.28	253.62	173.14

*Resultados del balance hídrico con RS MINERVE. Elaboración Propia.

Total: Intervalles y valles viejos

El balance hídrico futuro (2030 y 2050) demanda integrada intervalles y valles viejos - oferta del Santa presenta diferentes resultados en función a las proyecciones en la oferta-demanda y horizonte temporal (Fig. 27). De manera general, en el año 2030 solo hay un ligero déficit hídrico en los meses de junio (-13.3 hm³) y julio (-2.5 hm³) para cubrir la demanda hídrica agrícola E1. Por el contrario, hay un superávit hídrico si se considera las proyecciones en la demanda hídrica agrícola E2/E3, siendo este mayor para el E3.

Figura 27: Balance hídrico intervalles y valles viejos - oferta útil del Santa año 2030 y 2050



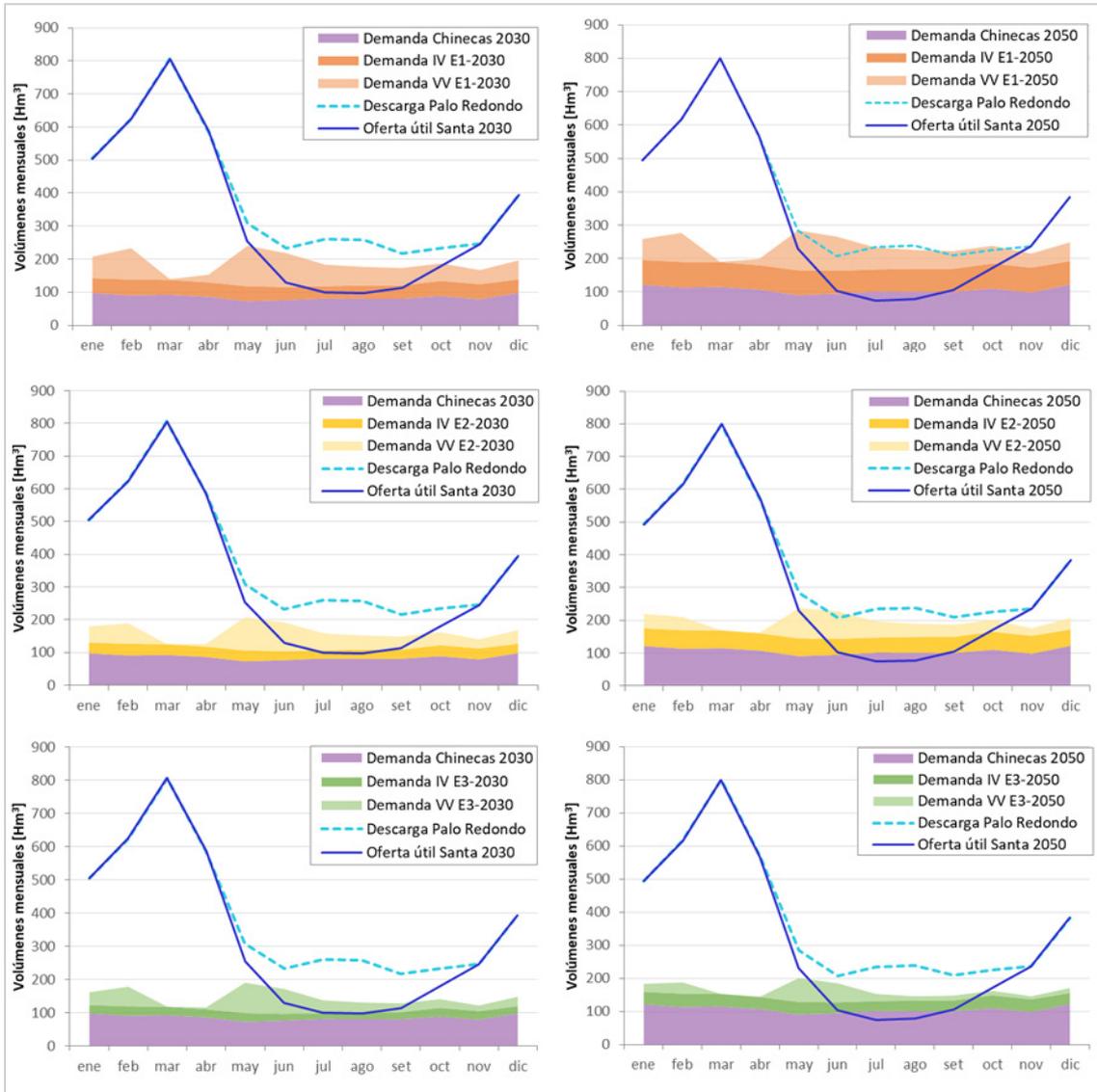
Nota: La oferta útil es el resultado de las proyecciones de disponibilidad hídrica del Santa menos el caudal ecológico. IV: intervalles, VV: valles viejos. Elaboración Propia.

Por otro lado, al año 2050 se acentúa el déficit hídrico durante la época de estiaje (junio-setiembre) bajo las proyecciones en demanda hídrica agrícola en los E y E2. En relación al E1, el déficit hídrico alcanza un pico de -67 hm^3 en junio y, durante la época de estiaje el déficit promedio es de -47.5 hm^3 . El déficit hídrico se reduce bajo el E2, con un máximo de -28.6 hm^3 en junio y de -20.5 hm^3 durante la época de estiaje. Si bien bajo el E3 se mantiene un superávit hídrico, el margen se reduce considerablemente (35%) en relación al año 2030. Ello se debe tanto a una mayor demanda hídrica agrícola y a la disminución significativa (aproximadamente 34% durante estiaje) en la oferta hídrica del Santa.

Los resultados presentados considera que el total de la oferta futura del Santa (menos caudal ecológico) es disponible para el PECH; sin embargo, esta debe ser repartida con Chincas. Calcular la futura demanda hídrica de Chincas está fuera del alcance de la investigación, pero en base a la expansión agrícola prevista (~30,000 ha adicionales) se obtuvo un valor

grueso de esta. En la Fig. 28 se muestra el futuro balance hídrico considerando la demanda hídrica agrícola intervalles y valles viejos y de Chinecas.

Figura 28: Balance hídrico futuro intervalles y valles viejos (2030 y 2050) considerando la futura demanda hídrica de Chinecas y la regulación de Palo Redondo



Nota: La oferta útil es el resultado de las proyecciones de disponibilidad hídrica del Santa menos el caudal ecológico. IV: intervalles, VV: valles viejos. Elaboración Propia.

Al incluir la futura demanda de Chinecas se acentúa el déficit hídrico durante la época de estiaje. En la Tab. 25 se presenta el déficit hídrico para el PECH según escenario, horizonte temporal y reparto del Santa. Se observa cómo al considerar la demanda de Chinecas, incrementa drásticamente el déficit, siendo este más pronunciado bajo el E1-2050 y menor bajo E3-2030. En general se aprecia que para todos los escenarios a mediano plazo el déficit es mayor.

Tabla 25: Déficit hídrico futuro según escenario, horizonte temporal y reparto del Santa

Oferta útil del Santa	E1		E2		E3	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Caudal ecológico	-15.80	-189.94	0.00	-61.43	0.00	0.00
Demanda Chinecas	-319.66	-586.97	-211.04	-476.16	-127.42	-272.20
Con Palo Redondo	0.00	-85.37	0.00	-19.79	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, los resultados del balance hídrico también varían si se considera la regulación hídrica de Palo Redondo (descarga máxima de 88 m³/s) (Fig. 28 y Tab. 25). Así, solo se presentaría un déficit hídrico de aproximadamente 85.4 hm³ bajo el E1-2030 y de 19.8 hm³ E2-2050.



5. DISCUSIÓN

5.1. Desarrollo agrícola en la costa peruana

La investigación se centra en el PECH, pero el fenómeno de desarrollo agrícola a gran escala no es aislado y ocurre a lo largo de la costa peruana. La consolidación del sector agroexportador en la costa peruana ha sido posible gracias a un favorable marco legal, económico, social e institucional (Eguren & Marapi, 2015). A ello se suma la inversión en infraestructura hidráulica y las condiciones climáticas de la región lo cual permite la siembra durante todo el año (BCRP, 2013). Sin embargo, la agricultura intensiva ha conllevado a un elevado uso del agua en una zona naturalmente árida. En efecto, los grandes proyectos de irrigación han surgido bajo la amenaza de escasez hídrica, lo cual ha justificado el uso de agua “excedentaria” de las zonas altoandinas y el agua que “se pierde” en el mar (Lynch, 2013; Marshall, 2014). En esencia, se ha creado una forma de “acaparamiento de agua” donde, debido a estructuras de poder, se toma control sobre el recurso (Seeman, 2015). Ello ha generado una creciente presión sobre los recursos hídricos y competencias por el acceso al recurso, generándose una escasez compartida entre los diferentes usuarios (Golte, 1980).

El PECH ha transformado la actividad agrícola en La Libertad, principalmente por la inversión privada de empresas agroexportadoras e industriales en los intervalles. Estas han modernizado la agricultura regional y tecnificado la irrigación, volviendo productivos los suelos arenosos de la costa peruana. Como consecuencia, ha habido importantes cambios en la estructura socioeconómica de la región. Una de las principales repercusiones positivas ha sido el incremento en las agroexportaciones y la generación de 65,900 puestos de trabajo directo (Inga Durango, 2016). Por otro lado, el PECH ha mantenido un carácter integrador ya que si bien su principal sustento es la agricultura en los intervalles, también incorpora la pequeña agricultura en los valles viejos. Ello se evidencia en el suministro de agua regulada del Canal Madre y la provisión de apoyo técnico para los pequeños agricultores. Además de lo anterior, el PECH utiliza el agua del Santa para generar alrededor de 0.64 MW de energía eléctrica y agua potable para 700,000 personas en Trujillo lo cual ha contribuido al desarrollo regional.

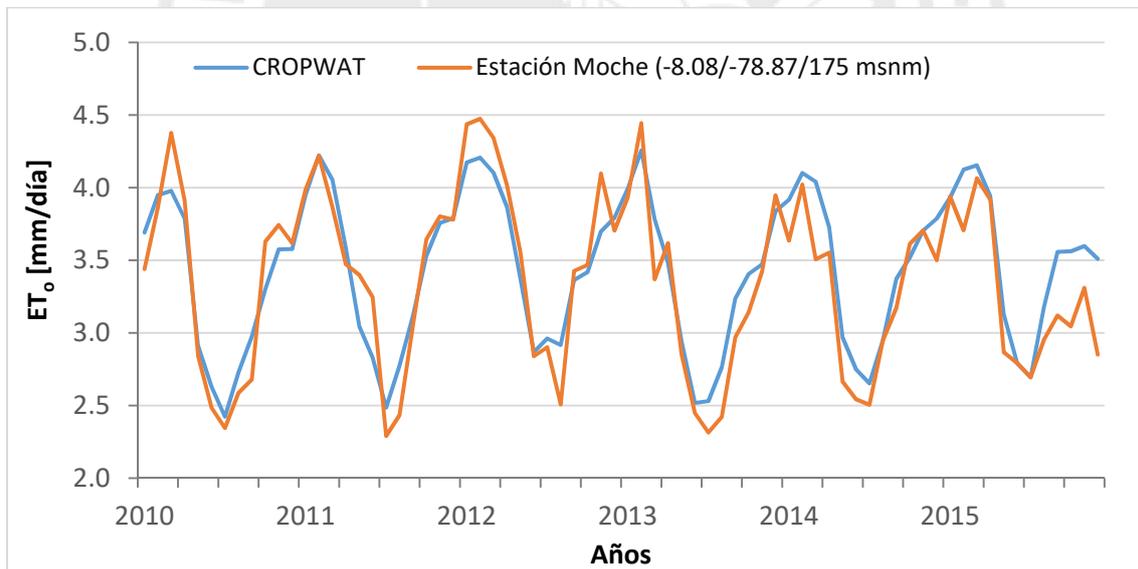
Si bien el PECH es uno de los principales motores del desarrollo de La Libertad y de las mejoras en la calidad de vida de la población, también continúa acentuando la presión sobre la cambiante oferta hídrica regional. La creciente demanda hídrica del PECH podría llegar a límites de abastecimiento, especialmente si se considera la futura expansión de la frontera agrícola. En ese marco relucen potenciales riegos hidrológicos de carácter socioeconómico y ambiental. Ello a la vez provee oportunidades para un manejo sostenible de los recursos hídricos. Por ejemplo, en la actualidad el PECH viene desarrollando Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE) en la cuenca alta del Santa y se orienta hacia la optimización de uso de agua por los valles viejos. Sin embargo, aún persisten limitantes entre ellos político-institucionales y sociales para alcanzar una gestión integrada y transversal de los recursos hídricos bajo un enfoque de cuenca.

5.2. Demanda hídrica agrícola actual (2016)

En primer lugar, previo a la discusión de los resultados de la demanda hídrica agrícola, es importante analizar críticamente el cálculo de ET_0 con CROPWAT y el desempeño del software para calcular una variable compleja que a su vez depende de otros parámetros meteorológicos (Allen et al., 2006). Si bien CROPWAT fue elegido como el software más apto para completar la serie de datos de ET_0 para la estación Moche, es importante resaltar las incertidumbres que aún persisten en el cálculo de ET_0 . Como fue indicado, el valor de R^2 para el cálculo con CROPWAT fue de 0.6, siendo un valor moderado.

Al comparar los cálculos de ET_0 con CROPWAT (2010-2015) con los valores reales de la estación se observa como CROPWAT sobreestima y subestima los valores de ET_0 (Fig. 29). Un análisis crítico de los resultados de ET_0 obtenidos por CROPWAT demuestra cómo para calcular la ET_0 , es fundamental contar con información climática completa. Para estaciones meteorológicas con escasa información, el poder calcular la ET_0 mediante temperaturas mínimas y máximas es una ventaja. No obstante, los resultados deben ser tomados con cautela e inclusive sería oportuno evaluar tanto las subestimaciones como sobreestimaciones para corregir los valores de ET_0 . La incertidumbre en la predicción de ET_0 por CROPWAT concuerda con lo expuesto por la FAO donde se establece que el cálculo de ET_0 por temperaturas mínimas y máximas tiende a ser sobreestimados en condiciones de elevada humedad relativa como el litoral de La Libertad (Allen et al., 2006).

Figura 29: Comparación entre la ET_0 calculada con CROPWAT y los valores de la estación Moche

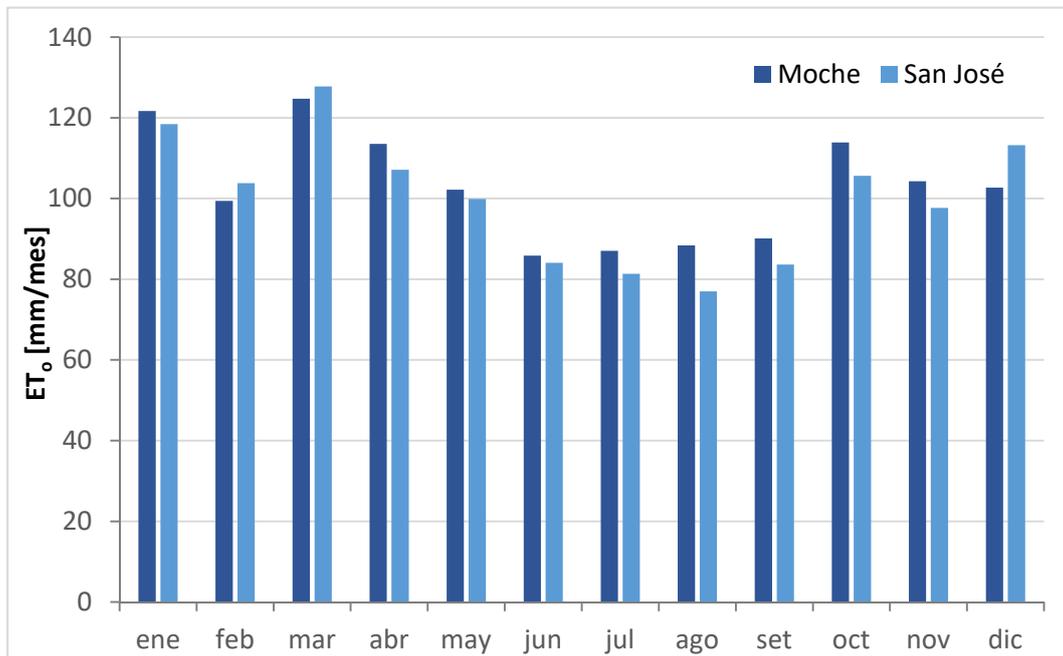


Fuente: PECH, 2017. Elaboración Propia.

Dado el grado de incertidumbre en el cálculo de ET_0 con CROPWAT, se comparó los resultados para el mes de marzo de la estación Moche con los datos primarios de la estación más próxima (San José) (Fig. 30). Al comprar la ET_0 de ambas estaciones, se observa un comportamiento semejante en la ET_0 a lo largo del año. En San José, marzo también es el mes con la mayor ET_0 lo cual reduce la incertidumbre de los valores calculados con CROPWAT

para la estación Moche. Sin embargo, se debe insistir que al tratarse de datos calculados de manera secundaria, aun presentan incertidumbres.

Figura 30: Comparación ET_o estación Moche y San José



Fuente: PECH, 2017. Elaboración Propia.

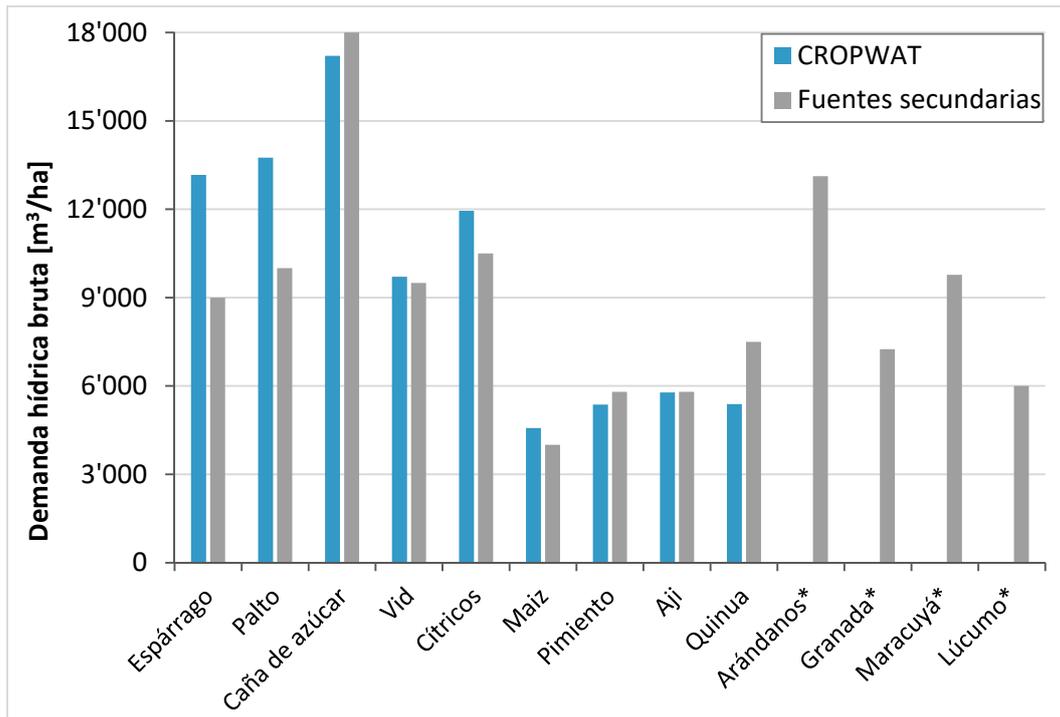
Tras reconocer las incertidumbres del cálculo de ET_o para los vacíos en información meteorológica, se procederá a analizar, por un lado, los resultados de demanda hídrica agrícola actual de los intervalles y valles viejos.

Intervalles

Debido a que el cálculo de la demanda hídrica agrícola del PECH se realizó con una combinación de datos primarios y secundarios, es importante contrastar los valores calculados con otras fuentes de información. De manera general, no se encuentra con amplia literatura de la estimación de la demanda hídrica agrícola en la costa peruana. Sin embargo, el MINAGRI cuenta con cartillas de condiciones agroclimáticas de algunos cultivos y hay investigaciones de algunos cultivos que indican su demanda hídrica.

Para poder verificar la validez de la demanda hídrica agrícola calculada con CROPWAT se buscó fuentes secundarias que indiquen la demanda hídrica para los mismos cultivos en zonas climáticas similares. Para el espárrago, el cálculo promedio de demanda hídrica bruta con CROPWAT se aproxima a los rangos establecidos por el MNAGRI (n.d) (Fig. 31). Además, la ANA (Fonseca et al., 2012) calculó la huella hídrica del espárrago para el año 2012 mediante CROPWAT y se obtuvo un requerimiento hídrico aproximado de 8,000 m³/ha para el distrito de Virú. Si bien dicho valor se encuentra por debajo del obtenido, la estación meteorológica utilizada por la ANA fue otra. Para el resto de los cultivos, como se observa en la Fig. 31, los valores calculados se aproximan a los valores establecidos por fuentes secundarias.

Figura 31: Demanda hídrica bruta calculada con CROPWAT y de fuentes secundarias



*No se calculó demanda hídrica con CROPWAT

Fuentes: Agrobanco, 2013; Gómez Pando & Aguilar Castellanos, 2016; MINAGRI, n.d.; Santillana, 2016; Suray Paita, 2017. Elaboración Propia.

Cabe recalcar que los cálculos de demanda hídrica agrícola son valores aproximados a la realidad. Sin embargo, al haber considerado una eficiencia de 80%, los valores calculados podrían acercarse más a los requerimientos reales de agua, considerando las pérdidas que ocurren dentro de un sistema de irrigación y no solo en la técnica de riego (por goteo).

Por otro lado, tras evaluar que la demanda hídrica bruta agrícola de los intervalles del PECH Etapas I y II es de aproximadamente 304 hm³, es importante analizar qué cultivos demandan más agua y cuál es su impacto en los recursos hídricos regionales. La producción agrícola en los intervalles es destinada -casi en su totalidad- al mercado internacional ya sea mediante productos frescos, congelados o conservas. Al tratarse de una agricultura de exportación, la producción depende íntegramente de la demanda del mercado internacional.

En los últimos años ha habido un “boom” en la producción intensiva de cultivos no tradicionales, específicamente el espárrago y la palta. Ello se evidencia en el PECH donde predomina la siembra de dichos cultivos, cubriendo aproximadamente el 71% del área total cultivada con más de 16,000 ha. El cultivo del espárrago ha tenido un incremento acelerado desde el inicio de riego del PECH (1994). En la última década la superficie cosechada se ha duplicado, incrementando la producción y el rendimiento. Asimismo, en la última década la superficie cosechada de palto se ha cuadruplicado, principalmente en la zona de Virú y Chao (BCRP, 2013). No obstante, son dos de los cultivos con mayor demanda hídrica. Como muestra la Fig. 31, la demanda hídrica bruta promedio del espárrago y la palta es elevada (>13,000 m³/ha). Además, resalta el caso del arándano, frutal introducido recientemente cuya superficie sembrada se ha duplicado entre el año 2015 y 2016 con una demanda hídrica

entre 10,000 y 14,000 m³/ha (Subgerente Operaciones Agrícolas Danper S.A, comunicación personal, 2 de abril de 2018).

Adicionalmente, se debe resaltar el caso de la caña de azúcar, cultivo tradicional de la región cuya demanda hídrica es la más elevada dentro del ámbito del PECH (> 17,000 m³/ha). Si bien la caña de azúcar se ha cultivado tradicionalmente, su producción se ha impulsado recientemente debido a la tecnificación e inversión del sector privado (BCRP, 2013). En las entrevistas realizadas se enfatizó la elevada demanda hídrica de la caña de azúcar e inclusive se cuestionó su instalación en los intervalles con suelo predominantemente arenoso. Sin embargo, se indicó que prevalece su cultivo dado su bajo mantenimiento.

En el PECH se observa una clara relación en la producción agrícola donde los cultivos con mayor extensión tienen la mayor demanda hídrica y, a su vez, son los cultivos más rentables en el mercado. Sin embargo, es importante situar geográficamente dicha conexión y la problemática de la agricultura de uso intensivo de agua. La elevada demanda hídrica de dichos cultivos en sí no es un problema socio-ambiental. El problema recae en la ubicación – con sus características inherentes- donde se realiza la siembra de dichos cultivos. La costa peruana es caracterizada por su aridez, con deficiencia de precipitación en todas las estaciones del año inferiores a 40 mm (Endara Huanca, 2016). En relación a las condiciones climatológicas de la zona que resulta cuestionable la instalación de cultivos con alta demanda hídrica. La precipitación efectiva promedio para las tres estaciones es muy baja, durante su ciclo vegetativo los cultivos reciben menos de 16 mm de lluvia. Ello deja claro cómo el aporte natural de precipitación por sí solo no es, en lo absoluto, suficiente para sostener el desarrollo de los cultivos en los intervalles. Es por ello que la infraestructura hidráulica es clave para irrigar las tierras agrícolas y los cultivos dependen totalmente en el suministro de agua por el Canal Madre.

En promedio, la demanda hídrica por hectárea para el año 2016 calculada en los intervalles fue de 13,500 m³/ha. Como consecuencia, ha generado que algunas empresas soliciten el incremento del volumen mínimo de agua garantizado en los intervalles que es actualmente de 10,000 m³/ha (Jefe división Medio Ambiente del PECH, comunicación personal, 2 de marzo de 2018). Es así como los cultivos del PECH (espárrago, palta, caña de azúcar) tendrían una elevada huella hídrica azul ya que el agua utilizada es extraída de una fuente natural y requiere de instalaciones para su distribución y suministro (ANA et al., 2015). Así, se demuestra cómo el desarrollo basado en cultivos con alta demanda hídrica podría generar una mayor escasez hídrica (Muñoz Portugal, 2011). En ese sentido, la significativa huella azul de cultivos destinados a la exportación podría amenazar la sostenibilidad socio-ambiental y económica de la región.

Es importante indicar que si bien el riego en los intervalles es por goteo, aún hay fugas de agua en el orden de 20% tanto a nivel de aplicación de riego como de distribución. Como indica la JURP, a nivel de aplicación se presentan fugas en las mangueras cuando los mamíferos menores (roedores, zorrillos) muerden las mangueras, también cuando hay una acumulación de sedimentos en las mangueras y cuando las válvulas se desgastan (Jefe de Investigación Fitosanitaria JURP, comunicación personal, 1 de marzo de 2018).

A nivel de distribución se presentan pérdidas en los canales de excedencia (canales destinados a desfogar excedentes de agua conducidas por un canal de riego) por donde el agua es enviada al mar (Jefe de Operaciones y Mantenimiento JURP, comunicación personal, 1 de marzo de 2018). Por otro lado, se debe resaltar que si bien el riego en los intervalles es tecnificado por goteo, ello no significa que el uso del agua sea eficiente por los usuarios. Como indican en el PECH, en muchos casos en las empresas se hace un uso eficiente del agua al regar por mucho tiempo sus cultivos. Ello ha ocasionado problemas de infiltraciones los cuales han perjudicado a las zonas más bajas de los valles donde, por la topografía y formación geológica, se acumula el agua, y junto con las altas tasas de evaporación se genera la salinización de suelos.

Las entrevistas realizadas a los empresarios han permitido profundizar el tema de uso de agua y la percepción sobre su valor tanto económico como intrínseco como recurso fundamental. En la JURP se indicó que el agua tiene una tarifa diferenciada, es decir, el costo por el servicio de agua incrementa al superar los volúmenes primero de 10,000 y luego de 13,000 m³/ha (Jefe de Operaciones y Mantenimiento JURP, comunicación personal, 1 de marzo de 2018). Dicha tarifa diferenciada debería incentivar el uso eficiente del agua, sin embargo, se destacó que el precio que pagan por el agua es muy bajo, lo cual condiciona el desinterés por su uso racional (Subgerente de Control de Gestión Virú S.A., comunicación personal, 27 de diciembre de 2017). El agua, al tener un costo tan bajo para las grandes empresas agroexportadoras, se vuelve en un recurso asequible y con baja valoración. Se indica que si el precio del agua fuera más elevado, entonces habría una mayor preocupación por su uso racional.

Valles viejos

Al evaluar la demanda total del PECH se debe considerar como prioritario evaluar la gestión y uso del agua a nivel de los valles viejos. Para ello se realizaron entrevistas a miembros de las JUs de agua de la cuenca del río Moche, Virú y del subdistrito de riego Chao. En el desarrollo del PECH ha habido un énfasis en la gestión del agua en los intervalles, no obstante, si se busca asegurar una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos se debe considerar los valles viejos donde predominan prácticas ineficientes de uso de agua.

Si bien el agua del Santa debía ser complementaria para los valles viejos, en la realidad es el suministro principal de agua. Desde la consolidación del Canal Madre se ha posibilitado un incremento de más de 9,000 ha en el área cultivada de los valles viejos, cuya agricultura solía ser estacional (Gaita, 2014). Así, en parte, se justifica que los valles viejos (zonas medias y bajas) tengan una mayor dependencia del agua del Santa (73% de la demanda hídrica). Además, de la elevada dependencia del agua del Santa también hay una alta demanda hídrica. En el periodo 2000-2016 la demanda hídrica pasó de 61 hm³ a 197 hm³. Ello es en parte la consecuencia de la expansión agrícola, pero también se debe analizar otros factores que han inducido el crecimiento en la demanda hídrica del Santa.

En primer lugar, una de las razones en la creciente demanda de agua del Santa es por las prácticas ineficientes de uso de agua de riego en los valles viejos. Por un lado, predomina el riego por gravedad el cual tiene una eficiencia muy baja (entre 30-40%). A ello se suma el hecho de que los agricultores tienden a suministrar más agua a los cultivos de lo que

requieren ya que creen que ello va a asegurar una mejor producción (Jefe división Medio Ambiente del PECH, comunicación personal, 2 de marzo de 2018). En segundo lugar, factores socio-ambientales como las crecientes competencias de usuarios por el agua, aumento en la evapotranspiración y cambios en la hidrología ha generado una mayor demanda hídrica del Santa. El incremento en la demanda hídrica en el valle de Moche ha llevado a la actualización en la asignación de agua del Santa de 25 hm³ a 40 hm³ y a 50 hm³ (2010-2017). Según Hernández (2015) una de las causas de la creciente demanda hídrica de agua del Santa en la parte media-baja de Moche es la mayor competencia entre usuarios aguas arriba-aguas abajo. A ello se suman, cambios en la evapotranspiración estacional debido a mayores temperaturas (Gerente de Operaciones y Mantenimiento JU Moche, comunicación personal, 28 de febrero de 2018). Por otro lado, la mayor estacionalidad en los ríos ha conllevado a la mayor dependencia del agua regulada del Canal Madre (Gerente de Operaciones y Mantenimiento JU Moche e Ingeniera Agrícola JU Virú, comunicación personal, 28 de febrero y 1 de marzo de 2018).

En tercer lugar, las JUs y la ALA tienen una débil autoridad para el monitoreo de la demanda hídrica y el agua distribuida. En los valles, el volumen de agua distribuida es aquella que los agricultores solicitan, sin una supervisión. Ello trae problemas, como indica la JU de Virú, en muchos casos los cultivos que se declaran por los usuarios no son necesariamente los cultivados lo cual complica la gestión de la programación y distribución de riego y la posibilidad de monitorear el riego en función a los requerimientos reales de los cultivos (Ingeniera Agrícola JU Virú, comunicación personal, 1 de marzo de 2018).

En los valles viejos se han desarrollado acciones para optimizar el uso del agua de riego; sin embargo, persisten limitantes que han condicionado las mejoras en el uso del agua. El PECH e instituciones privadas han ofrecido asistencia técnica para la optimización del riego, pero solo el 15.7% de los valles han mejorado sus sistemas de riego debido principalmente a los altos costos de instalación y mantenimiento (Jefe división Medio Ambiente del PECH, comunicación personal, 1 de marzo de 2018). Por otro lado, la resistencia de los pequeños agricultores para asociarse y trabajar cooperativamente ha impuesto una limitante para hacer efectivo el apoyo técnico de instituciones las cuales buscan extensas áreas contiguas (Gerente de Operaciones y Mantenimiento JU Moche, comunicación personal, 28 de febrero de 2018). A ello se suma la resistencia de los pequeños agricultores, especialmente las generaciones mayores, a generar cambios en su agricultura tradicional (por gravedad) (Jefe división Medio Ambiente del PECH, comunicación personal, 2 de marzo de 2018).

Dadas las limitaciones para la tecnificación del riego, se ha buscado optimizar el uso del agua a través de otros sistemas más eficientes de riego. Por ejemplo el PECH ha impulsado programas de nivelación de terreno, dotación de mangas y sifones para mejorar el riego por gravedad. Sin embargo, persisten problemas para la sostenibilidad de dichos programas dado el bajo personal que logre capacitar efectivamente a los agricultores.

Incertidumbres en el cálculo de la demanda hídrica agrícola

En primer lugar y como ya ha sido mencionado, se debe resaltar las incertidumbres que se generan en el cálculo de la demanda hídrica agrícola cuando no se cuenta con series completas de ET_o medida *in situ* o cuando no se cuenta con todos los parámetros necesarios

para calcularla. A ello se suma el hecho de que en la investigación se han utilizado tres estaciones meteorológicas para calcular la demanda hídrica a lo largo de aproximadamente 150 km del litoral de La Libertad. Si bien el clima en dicha zona es bastante homogéneo, al contar solo con datos de entrada de tres estaciones meteorológicas se tiende a homogeneizar los RAC. Además, la incertidumbre de la investigación y el cálculo de la demanda hídrica aumenta cuando se carece de datos reales de K_c . En la investigación se ha utilizado valores referenciales de K_c determinadas por la FAO. Sin embargo, el K_c varía en función al área de estudio, las características propias de los cultivos y el clima particular (Allen et al., 2006).

Adicionalmente, en el cálculo de la demanda hídrica agrícola en los intervalles se asume una eficiencia de riego combinada de 80%, no obstante, ese es un valor promedio. Eso quiere decir que no hay una gran precisión en las pérdidas que ocurren a lo largo de sistemas hidráulicos complejos como el PECH. Así, podría haber diferentes tipos de pérdidas/fugas en los sistemas de conducción, distribución y aplicación las cuales no son consideradas y requerirían un constante esfuerzo de monitoreo y control de calidad. Por otro lado, una limitante para la investigación fue que en los valles viejos hay una gran heterogeneidad de cultivos sembrados, muchos de los cuales no estaban incluidos en la base de datos de la FAO. Por ello no se pudo calcular los RAC y se tuvo que recurrir a información secundaria de agua distribuida por las JU.

5.3. Futura demanda hídrica agrícola (2030 y 2050)

Las proyecciones de demanda hídrica agrícola presentan tres posibles trayectorias de evolución de la demanda a corto (2030) y mediano plazo (2050). Las tendencias actuales de incremento en la demanda hídrica agrícola del PECH presentan tanto desafíos técnicos como una problemática política y socio-ambiental. En casos como el desarrollo agrícola del PECH, la política nacional junto con el mercado agrícola han incentivado el uso intensivo y desigual del agua y sobre-estimulado la demanda hídrica (Lynch, 2013). Es por ello importante analizar críticamente las trayectorias de demanda hídrica agrícola de los intervalles y los valles viejos dentro del contexto nacional y local.

Intervalles

En primer lugar, el E1 "*todo sigue igual*" presupone una evolución tendencial de la demanda hídrica agrícola, es decir, no hay un cambio en los patrones actuales de desarrollo agrícola y en uso del agua. Si bien este escenario es pesimista, es probable que ocurra si no hay cambios sustanciales en la gestión del agua. La gestión de recursos hídricos en el Perú se ha enfocado tradicionalmente en el desarrollo de infraestructura hidráulica para maximizar la oferta hídrica, su aprovechamiento productivo y abastecer la creciente demanda hídrica en vez de limitarla/gestionarla. El PECH está basado en este paradigma y en la actualidad ya se está desarrollando nueva infraestructura (Palo Redondo y expansión Canal Madre) para posibilitar la expansión en la Etapa III. Así mismo se prevé la utilización del agua subterránea y la optimización del riego. Ello significa que por un lado, se busca disminuir la demanda hídrica y, por otro lado, aumentar la oferta mediante la regulación del caudal del Santa y la explotación de fuentes alternativas de agua.

La problemática identificada en el E1 se repite en el E2 ya que si bien el desarrollo técnico (mejoras en la eficiencia de riego) permite un uso más eficiente del agua, si no es acompañado de un cambio profundo en la visión de desarrollo preponderante y en las estructuras políticas y de gestión, entonces el cambio no va a ser posible o trascendente. Además, como indican (Berbel, et al., 2014; Lynch, 2013) si bien el riego tecnificado es moderno y optimiza el uso del agua, en tanto se continúe expandiendo el área agrícola con los mismo cultivos de uso intensivo de agua la demanda hídrica incrementará y se agudizará la escasez hídrica. Como plantean Rijsberman (2006) y Vos & Marshall (2017), si bien el incremento en la eficiencia de riego (tecnificado) se basa en la idea de 'más cultivo por gota' (aumentar la productividad) está lejos de asegurar un manejo sostenible del agua. Por lo contrario, un aumento en la productividad generaría una retroalimentación positiva en la que se utilizaría más agua para una mayor expansión agrícola.

Para alcanzar un desarrollo sostenible y una gestión adaptativa de los recursos hídricos es necesario contar con enfoque de gestión de la demanda hídrica. Idóneamente en un futuro se debería priorizar la densificación agrícola en los actuales intervalles y evitar la expansión agrícola hacia el norte lo cual implica gastos en infraestructura, mayor potencial de pérdidas de agua y presión sobre el Santa. Si bien a mediano plazo en el E3 no se alcanza una disminución en la demanda hídrica agrícola, en comparación con los otros escenarios sí se reduce significativamente especialmente por la adopción de cultivos con baja demanda hídrica. Sin embargo, es necesario evaluar críticamente la posibilidad de cambio en los cultivos sembrados. Entre las empresas agroexportadoras y la JURP, hay una falta de perspectiva futura ya que no se prevé un escenario de mayor estrés hídrico donde tengan que adecuar sus cultivos al clima cambiante (Comunicación personal, 1 de marzo). Para alcanzar el desarrollo agrícola con cultivos de bajo consumo hídrico proyectado en el E3, debería haber un cambio drástico en la visión de las empresas guiado por el marco político nacional. Las empresas deberían adaptarse y desarrollarse estrategias nacionales para posicionar cultivos alternativos en el mercado agrícola. Ello aseguraría una menor demanda hídrica además de continuidad en las inversiones realizadas por las empresas agroexportadoras.

Valles viejos

A diferencia de los intervalles, las proyecciones en la demanda hídrica agrícola bruta no hacen referencia a una fuente específica de agua visto que los valles utilizan tanto agua de sus propias cuencas como del Santa. Sin embargo, los resultados presentan posibles trayectorias en la evolución de la demanda hídrica agrícola a corto y mediano plazo para cada valle.

Las proyecciones en la demanda hídrica agrícola bajo el E1 presentan trayectorias distintas para cada valle. Por un lado, la expansión agrícola considerada para los valles de Chao y Moche (15-20%) junto con un bajo incremento en la eficiencia de riego conllevan a un incremento constante en la demanda hídrica para los años 2030 y 2050. Caso contrario, en el valle de Virú donde el menor potencial de expansión agrícola genera un menor incremento en la demanda hídrica agrícola, especialmente al año 2050.

Por otro lado si bien en la actualidad el PECH abarca solamente los valles de Chao, Virú y Moche, en las proyecciones de demanda hídrica se incluya el valle de Chicama-Etapa III.

Chicama, al tener el mayor potencial de expansión agrícola (+20,000 ha) presenta la mayor proyección en la demanda hídrica agrícola. A ello se suma el hecho de que la demanda hídrica bruta promedio por ha es la más elevada (14,400 m³/ha). Si bien en la proyección de la demanda hídrica no se ha considerado cambios en la cédula de cultivo, es altamente probable que, de expandirse el área agrícola, incrementen las hectáreas de caña de azúcar visto que Chicama es tradicionalmente azucarero y se emplazan importantes empresas de dicho rubro como Casa Grande y Cartavio (BCRP, 2016).

Las proyecciones en la demanda hídrica para los valles viejos podrían derivar en impactos socio-ambientales negativos. En base a las tendencias ya observadas en el valle de Moche, el incremento proyectado en la demanda hídrica agrícola agravaría las competencias por los recursos hídricos con los agricultores en la cuenca media y alta. Adicionalmente, se podrían presentar conflictos con la asignación de agua, la cual tendría que ser modificada. En la actualidad en el valle de Chao hay déficit hídrico durante todo el año, de modo que la demanda hídrica proyectada en el E1 significaría una mayor presión sobre el agua del Santa. Por otro lado, si a la mayor demanda hídrica de los valles viejos se suma la de los intervalles es inevitable que se agrave la salinización de los suelos debido a los deficientes sistemas de drenaje en los valles viejos y a la subexplotación del agua subterránea.

En segundo lugar, en contraste con el E1, en el E2 se proyecta a corto y mediano plazo una disminución en la demanda hídrica agrícola bruta de los valles de Chao, Virú y Moche en relación a la demanda actual. Dichas proyecciones demuestran cómo, independientemente del crecimiento agrícola, una mayor eficiencia de riego puede conllevar a una disminución entre 9-34% en la demanda hídrica agrícola bruta al año 2050. Como ha sido resaltado, en la actualidad en los valles viejos hay una muy baja eficiencia de riego, principalmente debido al riego por gravedad y a las pérdidas en los canales de irrigación. De incrementar la eficiencia de riego hasta un 65% no solo disminuiría la demanda hídrica y la presión sobre los recursos hídricos, sino también las infiltraciones de agua a causa del excesivo riego. En ese sentido se reduciría el ascenso de la napa freática y la salinización de más tierras agrícolas.

En el valle de Chicama las proyecciones se comportan de manera distinta y si bien hay una disminución en la demanda hídrica entre los años 2030 y 2050, esta no es menor que la demanda hídrica actual. Ello demuestra que en Chicama un incremento en la eficiencia de riego no es suficiente para disminuir la demanda hídrica futura en tanto aun persista una significativa expansión agrícola.

Si bien diversos estudios señalan a la eficiencia de riego como una medida necesaria para disminuir la demanda hídrica ello no necesariamente asegura un uso racional del agua. En el caso de los valles de Chao, Virú y Moche no es probable que la tecnificación conlleve a una mayor expansión del área agrícola dada la restricción geomorfológica de los valles, pero sí podría incentivar una conversión hacia cultivos con mayor demanda hídrica y con periodos vegetativos más prolongados. En el caso de Chicama se podría incentivar inclusive una mayor expansión del área agrícola ya que cuenta con mayor área con aptitud agrícola. Además, se debe asegurar que los agricultores utilicen adecuadamente los sistemas mejorados de irrigación a fin de asegurar un menor uso de agua.

En tercer lugar, el E3 asume un cambio profundo tanto en el uso y gestión de los recursos hídricos el cual implica una transformación en el marco político-institucional y en el accionar de las personas con la adopción de prácticas sostenibles de uso de agua. En ese sentido, las proyecciones en la demanda hídrica agrícola bruta de los valles viejos se sustentan en un desarrollo coherente y sostenible de la pequeña agricultura donde se trabaja de manera integrada la eficiencia de riego, la nueva cultura del agua y expansión agrícola. Así, tanto a corto como mediano plazo se proyecta una disminución en su demanda hídrica agrícola bruta.

En comparación con el E2 en el E3 hay un menor incremento en la eficiencia de riego, pero el fortalecimiento institucional y sensibilización toman mayor importancia y se presentan como los principales promotores en la reducción de la demanda hídrica. En las entrevistas realizadas en las JU y en el PECH se enfatizó cómo la falta de sensibilización ambiental por parte de los agricultores, la inercia institucional y debilidades de las autoridades para la gestión de los recursos hídricos han conllevado a un uso desmedido del agua. Así, el fortalecimiento institucional junto con un efectivo monitoreo de la distribución del agua y la sensibilización de los agricultores generaría una disminución significativa en la demanda hídrica agrícola. Desde el punto de vista ambiental, ello significaría una menor presión sobre los recursos hídricos de las propias cuencas de los valles y sobre el río Santa. A la par, ello tendría un efecto positivo en las dinámicas socioeconómicas ya que reduciría las competencias por el acceso al agua entre los agricultores y la inequidad en su distribución. Adicionalmente, bajo el E3, se esperaría que los resultados sean trascendentales y que se mantenga una baja demanda hídrica agrícola.

Incertidumbres en la futura demanda hídrica agrícola (2030 y 2050)

Si bien los escenarios de la evolución futura de la demanda hídrica agrícola del PECH han sido construidos en función a un conjunto de variables de manera coherente, se debe incidir que no son predicciones del futuro (IPCC, 2001). En el ejercicio de buscar la mayor veracidad en la construcción de escenarios se decidió formular dos conjuntos de escenarios uno para los intervalles y otro para los valles viejos. Sin embargo, el PECH es muy complejo y la demanda hídrica de ambos ámbitos es dinámica en tanto está sujeta a diversas variables y actores.

El sector agrícola es muy complejo y rápidamente cambiante a la vez que la producción depende de una serie de variables como el precio en el mercado, condiciones meteorológicas, rendimientos, etc. En ese sentido, es imposible predecir con total certeza qué cultivos habría en un futuro en el PECH, visto que inclusive en un año la producción puede variar. Ello se presenta como una de las principales incertidumbres en las proyecciones de la demanda hídrica agrícola para los intervalles. Para los valles viejos la incertidumbre en las proyecciones aumenta dado que no se han considerado patrones de cultivos futuros, sino el valor promedio de demanda hídrica agrícola bruta por valle. Si bien no es el método más óptimo, dada la heterogeneidad de la agricultura es difícil determinar la posible evolución de los cultivos por valle lo cual va más allá del alcance de la investigación.

En segundo lugar, no se tiene una certeza sobre el ritmo de expansión agrícola. Para el caso de los intervalles ello depende la venta de lotes agrícolas, el interés de las empresas y los medios económicos para el acondicionamiento del terreno para la siembra. Para los valles

viejos la incertidumbre es menor dado que el potencial de expansión agrícola es menor. En tercer lugar, se encuentran las incertidumbres en la mejora en la eficiencia de riego en los valles viejos. A diferencia de los intervalles, en éstos últimos interactúan muchas más variables en los cambios en las técnicas de riego (financiamiento, apoyo técnico, predisposición de los agricultores, monitoreo y seguimiento). En ese sentido, los supuestos definidos para la mejora en la eficiencia de riego presentan posibles trayectorias simplificadas con un grado de incertidumbre.

Finalmente, en las proyecciones de la demanda hídrica agrícola de ambos ámbitos no se consideró cambios en la temperatura ya que estos no era sustanciales en los horizontes temporales. Sin embargo, es probable que en el futuro aumente la ET_0 y la demanda hídrica agrícola lo cual generaría una mayor presión sobre los recursos hídricos.

5.4. Balance hídrico

En los últimos años ha habido un giro en el paradigma de la gestión de agua hacia la demanda, pero esta debe ser analizada en relación a la oferta hídrica. Los resultados del balance hídrico actual y futuro permiten analizar críticamente las repercusiones socio-ambientales dentro del ámbito del PECH y en la cuenca del Santa.

5.4.1. Balance hídrico actual (2016)

En el presente acápite se discuten por un lado los resultados del actual balance hídrico de los valles viejos realizado con RS MINERVE. Por otro lado, se analiza de manera integrada el actual balance demanda hídrica agrícola intervalles y valles viejos (insatisfecha por sus propias cuencas) y la oferta hídrica del Santa.

Valles viejos

Los resultados de la calibración del modelo hidrológico fueron diferenciados en función a las cuencas hidrográficas. La capacidad del modelo para simular los caudales actuales (2016) determina el grado de incertidumbre de las simulaciones futuras. Es por ello que se debe analizar los factores que pueden haber influido en el desempeño del modelo.

Los datos que influyen principalmente en los caudales simulados son los de precipitación. Dado los bajos coeficientes de eficiencia obtenidos en las cuencas de Moche, Virú y Chao, se buscó comparar los datos de precipitación anual de PISCO con los de las estaciones meteorológicas. Sin embargo, dada la baja cobertura espacio-temporal de estaciones dentro de las cuencas no se pudo llegar a un consenso sobre la calidad de los datos de PISCO. En las estaciones donde se realizó la comparación se identificó tanto una sobreestimación como subestimación de la precipitación de PISCO.

Sin embargo, dado que en la cuenca de Chicama sí se obtuvo una buena calibración, es probable que otros factores hayan influido en los resultados del modelamiento. El estudio de Astorayme et al. (2015) plantea que, en comparación con el modelo SOCONT, otros modelos con mayores parámetros describen con mayor precisión las series durante la época de estiaje. Para cuencas como la del río Chao, cuyo caudal anual promedio es muy bajo ($<0.41 \text{ m}^3/\text{s}$) el modelo SOCONT tuvo deficiencias y tendió a sobreestimar el caudal. Por otro lado,

al realizar un modelamiento hidrológico es importante que los datos de entrada sean lo más fiables y precisos posible. Una importante limitante en el modelamiento fue la falta de series largas de caudales ya que reduce el espectro de variabilidad de los ríos. Por otro lado, se debe plantear la posibilidad de que haya habido deficiencias en las estaciones de aforo o que la sobreestimación en los caudales especialmente en Moche y Virú haga referencia al agua extraída de los ríos principalmente para uso agrario.

Los resultados del balance hídrico actual para los valles viejos demuestran un importante déficit hídrico lo cual explica la dependencia de estos al agua del Santa especialmente durante la época de estiaje cuando el caudal de los ríos disminuye drásticamente. Dado que en los valles viejos el agua subterránea es muy poco utilizada, se entiende que la fuente hídrica alternativa para satisfacer el déficit hídrico es el agua del Santa. Los resultados de déficit hídrico para los valles viejos se aproximan a los valores de volumen de agua suministrado del Santa provistos por las JU. Se debe resaltar que el modelo calcula que el caudal del río Chao podría cubrir 17% más de la demanda hídrica actual. No obstante, ello puede deberse a la sobreestimación del caudal del río Chao. Del mismo modo, en base al modelamiento se estima un mayor déficit hídrico en el balance del valle de Moche.

Por otro lado, si bien en la actualidad el valle de Chicama no forma parte del PECH, es importante evaluar cuál es el estado actual del balance hídrico. Si bien el río Chicama es el río más caudaloso, el área agrícola del valle de Chicama también es la más extensa por ende la demanda hídrica es muy elevada. Así, la parte baja del valle de Chicama (área de influencia del PECH) presenta un déficit hídrico de aproximadamente 365 hm³ si se considera únicamente el aporte superficial del río. Dicho déficit se reduciría si se considera el uso del agua subterránea el cual se estima en aproximadamente 301 hm³ (ANA, 2015b).

Total: Intervalles y valles viejos

Si se considera la oferta útil mensual del río Santa (1958-2016) (estación Condorcero), y el volumen de agua derivado por el Canal Madre, en la actualidad hay un balance hídrico positivo para los intervalles. Durante la época húmeda no se evidencian problemas en el suministro de agua para la demanda hídrica agrícola. No obstante, si se considera la variabilidad mensual del río Santa, durante los meses secos podría haber una reducción promedio de 43.6% en el volumen de agua del Canal Madre. Si se considera la demanda hídrica agrícola conjunta de los intervalles y valles viejos, se generaría un déficit hídrico. Ello hace referencia a la variabilidad mensual promedio en la oferta del Santa y no a la oferta estática en un año lo cual permite comprender su dinámica interanual.

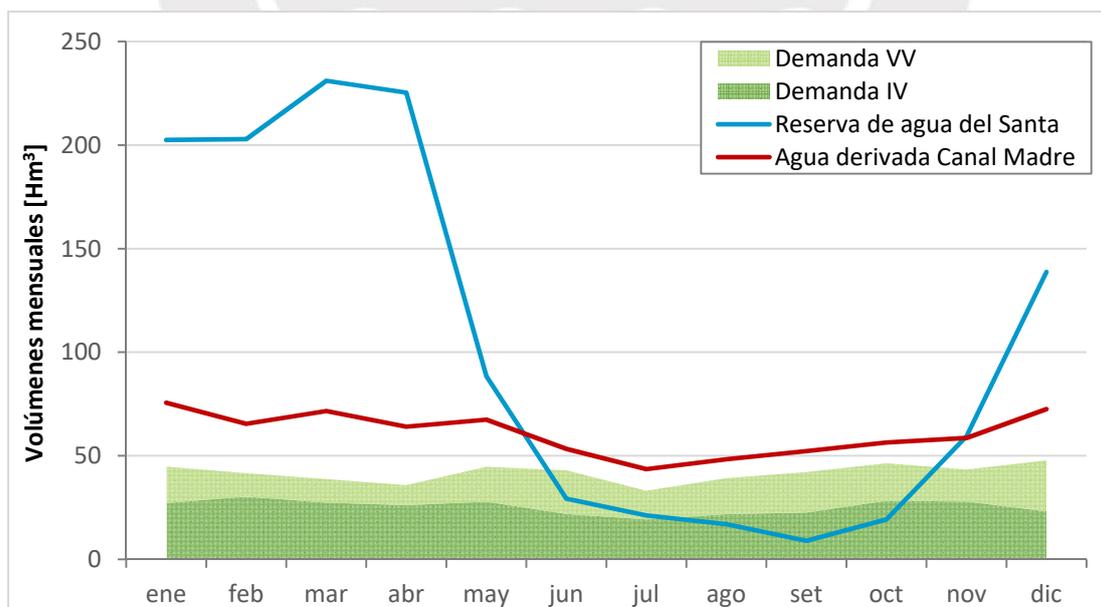
Al manejar los recursos hídricos es fundamental tener presente que los ríos son dinámicos en esencia. La oferta útil del Santa (1958-2016) presenta una importante variabilidad la cual tiene mayor relevancia durante la época seca. Como señala el Jefe de la división de Medio Ambiente del PECH, han habido años en los que el caudal del Santa ha bajado hasta menos de 40 m³/s umbral considerado crítico para el desarrollo agrícola (comunicación personal, 2 de marzo de 2018). En efecto, la bocatoma Chavimochic tiene una capacidad de captación máxima de 105 m³/s y el Canal Madre de 88 m³/s, sin embargo, en promedio en la época seca se deriva aproximadamente 19 m³/s. Si bien el balance hídrico actual para el PECH (intervalles y valles viejos) es positivo, ya se están manifestando problemas de suficiencia hídrica. Ante

dicha situación, empresas agroexportadoras han tomado medidas como la construcción de reservorios como back-up frente a las prolongadas sequías (Gerente de Operaciones y Mantenimiento JURP, comunicación personal, 1 de marzo de 2018).

En la actualidad se reconoce los efectos del cambio climático en la oferta del Santa, pero no se percibe como una amenaza para el desarrollo agrícola, especialmente por las empresas agroindustriales que manifiestan que el PECH les ha asegurado reservas de agua. Además, se confía en Palo Redondo para regular el suministro de agua (Gerente de Gestión de Calidad Virú S.A., comunicación personal, 27 de diciembre de 2017). Adicionalmente, debido a los cambios ya observados en la oferta hídrica, solo el 40% de las tierras nuevas proyectadas para las Etapas I y II han sido incorporadas (Jefe división Medio Ambiente del PECH, comunicación personal, 2 de marzo de 2018). Es por ello que las 27,900 ha restantes de las Etapas I y II y las 19,410 ha de la Etapa III estarían condicionadas al suministro de Palo Redondo (Inga Durango, 2016).

Por otro lado, si se considera que el MINAGRI otorga reservas de agua para los Proyectos Especiales habría un panorama más crítico en el balance hídrico. En el año 2014 mediante resolución jefatural, se le asignó al PECH una reserva de agua de hasta 1,243.85 hm³ anuales por un periodo de 25 años (Perú, 2014). En la Fig. 32 se detalla la oferta del Santa para el PECH (según la reserva de agua), el volumen de agua mensual captado por el Canal Madre y la demanda hídrica agrícola del PECH al año 2016. Durante la época húmeda el volumen de agua captado por el Canal Madre respeta la reserva de agua del Santa, sin embargo, durante la época seca se sobrepasa en promedio por 35 hm³. De cumplirse con la reserva de agua establecida, al año 2016 habría un déficit hídrico entre agosto-octubre; sin embargo, dado que el volumen de agua captada por el Canal Madre es mayor, no se presenta un déficit real.

Figura 32: Balance hídrico actual para los intervalles y valles viejos considerando la reserva del Santa y volumen de agua derivada por el Canal Madre (año 2016)



Nota: IV: intervalles, VV: valles viejos.
Fuente: Perú (2014). Elaboración Propia.

El hecho de que en la actualidad no se cumpla con la reserva de agua durante la época seca es un problema grave y manifiesta cómo la elevada demanda hídrica agrícola, especialmente durante la época de estiaje conlleva a un sobreuso de los recursos hídricos. Ello podría repercutir negativamente en los ecosistemas y en los otros usos de agua en las partes bajas además de agudizar los conflictos con Chinecas.

5.4.2. Balance hídrico futuro (2030 y 2050)

En el presente acápite se discuten por un lado los resultados del futuro balance hídrico de los valles viejos realizado con RS MINERVE. Por otro lado, se analiza de manera integrada el futuro balance demanda hídrica agrícola total intervalles y valles viejos (insatisfecha por sus propias cuencas) y la oferta hídrica del Santa.

Valles viejos

En el balance hídrico futuro de los valles viejos se debe resaltar que los modelos hidrológicos son siempre una simplificación de la realidad, en efecto, nunca pueden integrar todos los aspectos subyacentes al proceso de precipitación-escorrentía (Coron et al., 2011). Si bien los caudales han sido simulados de manera semi-distribuida, aún hay limitaciones para simular los complejos procesos en las cuencas (Drenkhan et al., 2016). A continuación se analizan los resultados de los cambios en la disponibilidad hídrica de los ríos del PECH y del balance hídrico de los valles viejos para cada escenario.

Las proyecciones en la demanda hídrica han sido los principales determinantes del balance hídrico futuro de las valles viejos; sin embargo, las proyecciones climáticas también influyen en la disponibilidad hídrica futura. Al tratarse de cuencas no glaciadas, los cambios en los caudales se relacionan estrechamente con los cambios netos en el aporte de precipitación. Se simuló los futuros caudales bajo los escenarios RCP2.6/8.5 para los años 2030 y 2050; sin embargo, recién a finales del siglo XXI habría cambios marcados en los escenarios de emisiones (Taylor et al., 2012). Ello explica, en parte, por qué no hay cambios significativos entre los caudales simulados bajo RCP2.6/8.5.

Por otro lado, la extensión de las cuencas del PECH es de 9,744 km², abarcando altitudes entre 0-4,000 msnm. Así, hay una gran variabilidad hidrometeorológica entre y dentro de las cuencas lo cual explica las disparidades entre los caudales y la respuesta de estos ante cambios meteorológicas. No obstante, sí se evidencian algunas tendencias de cambio en los caudales de los ríos del PECH. Por un lado, la combinación de un menor incremento en la temperatura y mayor precipitación conllevan a un mayor incremento en el caudal durante la época húmeda. Caso opuesto, durante la época seca hay un mayor incremento en la temperatura y menor en la precipitación, generándose un menor aumento en el caudal.

Los cambios simulados en los caudales bajo los escenarios RCP2.6/8.5 no son uniformes para todos los ríos, además hay cambios a nivel mensual. Así, se debe tener presente que las proyecciones climáticas del KNMI tienen incertidumbres intrínsecas las cuales influyen en los resultados (Fluixá et al., 2018). En el caso de los cambios proyectados en la precipitación es importante subrayar que persisten altas incertidumbres, sin embargo, se ha observado una tendencia de incremento en la precipitación anual y estacional entre 5°S y 11°S (Vuille et al.,

2003). Considerando dichas incertidumbres, a continuación se analizan los resultados de balance hídrico para los valles viejos para cada escenario.

Bajo el E1 se presenta el escenario más negativo, donde el déficit hídrico alcanza su mayor expresión para los cuatro valles viejos especialmente a corto plazo. A mediano plazo, debido al incremento en la precipitación, disminuye el déficit hídrico en todos los valles menos en Chao. Si bien no hay muchas investigaciones que cuantifiquen el balance hídrico de las cuencas del PECH, estudios (ANA, 2015a) destacan una alta presión de uso de agua en las cuencas de Moche y Chicama, con déficit hídrico por periodos prolongados. Así mismo se han observado cambios en la hidrología de los valles viejos, con una mayor variabilidad en los caudales y retraso en las avenidas (JUs Moche, Chao, Virú, comunicación personal, 28 de febrero y 1 de marzo de 2018). Como respuesta, se han evaluado acciones para incrementar la oferta hídrica. Por parte del PECH se está previendo la construcción de embalses en las partes altas de los valles de Virú y Moche para disminuir la presión sobre los recursos hídricos y regular el abastecimiento de agua en los valles bajos.

Por otro lado, para buscar satisfacer la actual y futura demanda hídrica de los valles viejos se ha propuesto la explotación del agua subterránea ya que esta ha sido subexplotada y la napa freática ha ascendido peligrosamente (Jefe división Medio Ambiente del PECH, comunicación personal, 2 de marzo de 2018). Para el E1 y el E2, el uso de agua subterránea no cubriría totalmente el déficit hídrico del año 2030 y 2050. Motivo por el cual aún habría una importante dependencia del suministro de agua del Canal Madre. Sin embargo, el aprovechamiento del agua subterránea permitiría aliviar, en parte, el déficit hídrico durante la época de sequía, atenuar los problemas de salinización y subsidencia además de reducir la presión sobre el Santa. No obstante, se debe asegurar su uso racional, ya que de lo contrario podría darse un caso similar al descenso alarmante en el acuífero de Ica-Villacurí (Oré, 2011). En caso no fueran desarrollados los planes de explotación de agua subterránea, la presión sobre el río Santa incrementaría y paralelamente en los valles viejos habría una mayor presión sobre la oferta hídrica de sus propias cuencas. En ese sentido, se podrían generar crecientes competencias con los usuarios aguas-arriba en las cuencas medias/altas.

En comparación con el E1, en el E2 el déficit hídrico disminuye drásticamente. Nuevamente, debido a la mayor precipitación del RCP8.5 incrementa el caudal y, por lo tanto, disminuye el déficit hídrico. Por otro lado, el menor déficit hídrico se atribuye a la menor demanda hídrica proyectada en el E2. La mayor eficiencia de riego del E2 conlleva a un menor déficit hídrico en los cuatro valles viejos, pero aún es significativo. En contraste, la reducida demanda hídrica agrícola del E3 junto con un menor incremento en la temperatura bajo el RCP2.6 genera una disminución considerable en el déficit hídrico. Si se considera los volúmenes de explotación de agua subterránea propuestos por Gaita (2013), al año 2050 se podría cubrir casi en su totalidad el déficit hídrico de modo que la dependencia del agua del Santa sería muy baja.

Total: Intervalles y valles viejos

Los resultados del balance hídrico total intervalles y valles viejos - oferta del Santa varían ampliamente en función al horizonte temporal y escenarios de demanda hídrica. A corto y mediano plazo, la mayor variabilidad del Santa y la creciente demanda hídrica podría generar

insuficiencia hídrica para el PECH durante la época de estiaje. Uno de los grandes desafíos con una cambiante disponibilidad y demanda hídrica es asegurar una asignación equitativa en los recursos hídricos. Como plantean Jensen et al. (2015) en sistemas complejos como el PECH y cuencas con múltiples usos de agua, al haber deficiencia hídrica se pueden generar problemas políticos. El déficit hídrico previsto bajo los escenarios más pesimistas (E1 y E2) podría agravar las desigualdades en la asignación y distribución de agua del Santa y atentar contra la seguridad hídrica de los usuarios.

En primer lugar, es probable que el déficit hídrico proyectado genere competencias por el uso del agua del Santa entre los usuarios de los intervalles y valles viejos. Las grandes empresas de los intervalles reúnen poder económico, intereses políticos y el derecho fijo a un volumen de agua, por ello es probable que se priorice su suministro frente al de los valles. Así, el suministro actual de agua del Santa para los valles viejos presenta trade-offs ya que ha permitido mejoras en la calidad de vida, pero también ha generado una dependencia de dicha fuente hídrica y una mayor vulnerabilidad futura de los pequeños agricultores.

En segundo lugar, el déficit hídrico proyectado en los E1 y E2 podría repercutir negativamente en el desarrollo de Trujillo. En la actualidad el 70% de su población se abastece de agua potable proveniente del Santa y el resto del acuífero de Moche. De continuar las tendencias actuales de crecimiento demográfico de Trujillo habría un aumento en la demanda hídrica poblacional. De acuerdo al déficit hídrico proyectado es probable que no haya suficiente agua del Santa para fines poblacionales lo cual conllevaría a una mayor explotación del acuífero de Moche. No obstante, si a ello se suma la mayor demanda hídrica del valle, podría generarse una sobreexplotación del recurso.

En tercer lugar, a una mayor escala, las competencias por el uso del agua se expandirían hacia el ámbito de la cuenca del Santa donde, por un lado, los pequeños agricultores se verían más vulnerables en el acceso al recurso y, por otro lado, incrementarían las tensiones y conflictos con Chincas (Lynch, 2013; Palpa, 2013; Drenkhan, 2016). En efecto, los cambios ya observados en la hidrología del Santa junto con políticas desiguales de asignación, distribución y acceso al agua han generado crecientes competencias por esta. Entre 2011 y 2014 hubo 153 conflictos sociales vinculados a recursos hídricos en el Perú, de ellos 14% fueron en Áncash y 3% en La Libertad (DDP, 2015). De mantenerse las tendencias actuales de gestión de recursos hídricos y de cumplirse el déficit hídrico proyectado, el número e intensidad de conflictos socio-ambientales podría aumentar drásticamente hacia los años 2030 y 2050.

El balance hídrico futuro reafirma que, de no contar con Palo Redondo, sería imposible continuar con la expansión agrícola Etapa III. Inclusive bajo una expansión agrícola controlada (E3) habría un importante déficit hídrico durante la época de estiaje. Por otro lado, aunque funcione Palo Redondo, es probable que la demanda hídrica proyectada bajo los E1 y E2 (2050) no pueda ser satisfecha por la oferta del Santa la cual seguirá siendo sujeta a crecientes presiones climáticas y antrópicas. Ello expone los límites en la infraestructura gris ante una creciente demanda y un clima e hidrología cambiante. Más aún, como plantea Katz (2016) al incrementar la oferta hídrica se podría estar actuando indirectamente sobre la

percepción de los usuarios, quienes percibirían una mayor disponibilidad hídrica de la real lo cual podría desencadenar un menor cuidado por el recurso y sobreuso.

Las empresas agroexportadoras, las JUs y el PECH vierten el futuro del Proyecto en el funcionamiento de Palo Redondo, sin embargo, de mantenerse el enfoque de desarrollo agrícola habría insuficiencia hídrica al año 2050. Más aún, la escasez hídrica podría intensificarse a partir de la segunda mitad del siglo XXI bajo mayores cambios hidrometeorológicos. Entre otros, ello podría afectar directamente a las empresas agroexportadoras e indirectamente a La Libertad, generándose una desaceleración en el desarrollo socioeconómico. Para asegurar la sostenibilidad del PECH, y el desarrollo de la población dentro de su área de influencia y del Santa, es necesario transitar hacia una gestión sostenible de los recursos hídricos tal como se presenta en el E3. Para ello tendría que haber un cambio radical en el enfoque actual de desarrollo agrícola y gestión de recursos hídricos; sin embargo, aún persisten grandes desafíos para alcanzar una gestión sostenible del agua.

Incertidumbres en el balance hídrico

Para el balance hídrico actual de los valles viejos con RS MINERVE se presentan, en primer lugar, incertidumbres en las simulaciones de caudales. La principal fuente de incertidumbre es la calidad de los insumos del modelo. Los datos meteorológicos PISCO utilizados tienen una alta resolución temporal (diario), pero baja resolución espacial (~5 km). A ello se suma la baja cobertura de estaciones de aforo de caudal. En conjunto, las limitaciones en las bases de datos meteorológicos e hidrométricos hicieron más compleja la calibración de las cuencas. Además, en la simulación no se utiliza información sobre cobertura vegetal ni suelos, variables que influyen en los procesos de escorrentía.

En segundo lugar, sobre la base de las limitaciones en las simulaciones actuales, debe quedar claro que las simulaciones futuras también son sujetas a esas mismas incertidumbres. Para la simulación futura de los caudales de los ríos del PECH se utilizaron datos promedio de los GCM del CMIP5 los cuales son sujetos a incertidumbres, especialmente por la baja resolución espacial. Por otro lado, se debe enfatizar que los insumos de demanda para las simulaciones futuras son las proyecciones de demanda hídrica agrícola realizadas en la investigación. Además, no se proyectaron trayectorias de demanda hídrica para las cuencas medias y bajas. Por otro lado se debe tener presente que existen otros factores que pueden ejercer presiones sobre la oferta hídrica, por ejemplo, cambios demográficos en las cuencas medias/altas podría incrementar/disminuir el uso del agua y con ello generarse cambios en la oferta hídrica aguas abajo. Finalmente, es importante resaltar que en el modelo no se ha evaluado el comportamiento del acuífero y las aguas subterráneas.

En el balance integrado en relación a la oferta del Santa se mantiene la misma incertidumbre de que los insumos son proyecciones y que estas son trayectorias posibles más no predicciones. En especial se debe considerar que la futura demanda de los valles viejos cubierta por la oferta del Santa es un resultado del modelamiento hidrológico el cual también está sujeto a incertidumbres.

5.5. Estrategias adaptativas de gestión de recursos hídricos

En La Libertad, la elevada demanda hídrica agrícola actual y las proyecciones presentan la necesidad de gestionar sosteniblemente los recursos hídricos. El desarrollo económico y social de La Libertad ha sido impulsado por el PECH, constituyéndose como una de las principales regiones agrícolas de la costa peruana. En paralelo al desarrollo del PECH se han generado puestos de trabajo y mejoras en las condiciones de vida. Sin embargo, dicho desarrollo socioeconómico podría verse afectado de mantenerse las tendencias actuales de aumento en la demanda hídrica, especialmente del creciente sector agrícola. Adicionalmente, aumentaría la vulnerabilidad de los usuarios de agua más pobres entre ellos los pequeños agricultores.

Dentro de ese marco, toma relevancia gestionar la demanda hídrica del sector agrícola el cual cuenta con el mayor consumo de agua y además tiene las mayores posibilidades de adaptación o ajuste frente a la escasez hídrica (FAO, 2013). Al proponer estrategias adaptativas se debe enfatizar que los resultados de la proyección de la demanda hídrica y el balance hídrico se basan en modelos y escenarios futuros y, de ese modo, presentan posibles trayectorias en el uso y disponibilidad de agua (BID, CEPAL, & MINAM, 2014). No obstante, ya se han observado cambios en la disponibilidad y demanda hídrica lo cual fortalece la necesidad de tomar acción. Así, surgen las intervenciones ‘sin arrepentimiento’ (low regret) que buscan hacer al sector agrícola menos propenso a las presiones hídricas y que se deriven beneficios independientemente de las tendencias climáticas futuras (GWP, 2012; BID et al., 2014; WWAP, 2015).

Según el IPCC la adaptación en sistemas humanos es definida como un proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos para moderar o evitar los daños, aprovechar las oportunidades y aumentar la resiliencia (IPCC, 2014). En ese sentido, intervenciones de adaptación buscan reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático. Más aún, las medidas adaptativas pueden apuntar a que un sistema, como el agrícola, alcance una capacidad adaptativa (GIZ, 2014). Para el caso del PECH se buscaría alcanzar una capacidad adaptativa frente a cambios en la disponibilidad hídrica. Las posibles medidas adaptativas de gestión de agua y la demanda hídrica son diversas y deben adecuarse al sector de uso de agua y a la zona de evaluación. De manera general, las herramientas de gestión de demanda hídrica pueden ser estructurales y no estructurales.

5.5.1. Medidas estructurales

En el sector agrícola se han desarrollado una serie de medidas estructurales las cuales han impulsado la producción agrícola. Frente a cambios en la disponibilidad hídrica se presentan diferentes alternativas para optimizar el uso de agua de riego.

Eficiencia y riego

Una de las medidas técnicas más recomendadas por políticas e informes de gestión de la demanda hídrica agrícola es mejorar la eficiencia del sistema de irrigación. En los intervalles, donde el desarrollo agrícola ha sido con capital privado, se ha implementado riego por goteo. Caso contrario en los valles viejos donde predomina el riego por gravedad con baja eficiencia de aplicación. Mejoras en el sistema de irrigación permitiría optimizar el uso del agua, sin embargo, dentro del ámbito del PECH y en el Perú en general, se ha presentado como una

tarea difícil. Entre las limitantes para la implementación de sistemas de irrigación eficientes se encuentran los elevados costos, la falta de apoyo técnico y la adecuada capacitación de los usuarios de agua. A fin de mejorar la eficiencia de riego será necesario contar con apoyo técnico y financiamiento para implementar sistemas mejorados de riego.

Si bien el riego tecnificado permite un uso eficiente del agua también se debe evaluar críticamente las repercusiones que podría tener la tecnificación en la demanda hídrica. Como plantean Berbel et al. (2014) y Katz (2016), la mejora de la eficiencia de riego podría generar un “efecto rebote” en la demanda hídrica visto que generaría mayores rendimientos de producción y propiciaría la expansión de tierras agrícolas. Efectivamente, en los intervalles el riego por goteo junto con el suministro de nutrientes (fertirriego) ha aumentado drásticamente los rendimientos de los cultivos. Tal es el caso del espárrago cuyo rendimiento ha incrementado de 5.35 t/ha a 13.38 t/ha (1966-2016) (MINAGRI, 2017) lo cual es positivo hasta cierto grado a partir del cual incentiva la expansión agrícola. En ese sentido, para asegurar una efectiva gestión de la demanda hídrica debería haber un complemento efectivo a la implementación de técnicas de riego más eficientes. Como plantean Berbel et al. (2014) una medida efectiva sería el control de la expansión del área agrícola irrigada. Esa idea es reforzada por el estudio realizado por el BID (Jensen et al., 2015) en el cual se propone un control en la expansión de áreas irrigadas del PECH como una medida de adaptación ante el cambio climático.

El uso irracional del agua en los valles viejos no es solo el resultado del riego por gravedad, sino también de un sistema deficiente de distribución de agua. Ello comprende tanto el estado de la infraestructura de irrigación como el propio reparto del agua. Es por ello necesario realizar estudios sobre el estado actual de la infraestructura de riego y refaccionarla a fin de minimizar las pérdidas de agua. Por otro lado, especialmente en los intervalles se podrían desarrollar cambios a nivel del modelo agrícola para optimizar el uso del agua y reducir la demanda hídrica agrícola (GWP, 2012). Entre las medidas que se podrían considerar se encuentra la transición hacia cultivos resistentes a climas áridos con menores requerimientos hídricos (GWP, 2012; BID et al., 2014).

5.5.2. Medidas no estructurales

Si bien las medidas no estructurales han sido relegadas a favor de las estructurales, estas deben ser desarrolladas en paralelo para asegurar una gestión adaptativa del agua. Por un lado, a escala de cuenca hidrográfica y del PECH, es fundamental que haya cambios a nivel político e institucional para asegurar una gobernanza de agua participativa e inclusiva para la GIRH. Además, bajo el enfoque de cuenca se deben promover proyectos de infraestructura verde para mantener los servicios ecosistémicos. Por otro lado, a escala del área de influencia directa del PECH, se deben desarrollar los medios necesarios para la sensibilización de los usuarios de agua hacia una nueva cultura de agua.

Político-institucional

En primer lugar, si bien ha habido avances en la desconcentración de la gestión del agua y la dotación de competencias a gobiernos regionales y locales, aún persisten deficiencias en la implementación de la GIRH a nivel de cuencas. Una de las principales debilidades de la institucionalidad recae en la lenta y conflictiva creación de los CRHC desde el 2010 (Lynch,

2012; French, 2016). En esencia, los CRHC al formar un nexo entre el Estado, sector privado y la sociedad civil, deberían favorecer una buena gobernanza del agua (French, 2016). Dentro del ámbito de estudio se debió conformar el CRHC del Santa, sin embargo, las dinámicas políticas y conflictos entre usuarios no lo han permitido. Así, será difícil lograr una gestión adaptativa del agua en tanto no haya un aprendizaje social, donde se desarrollen capacidades colectivas de gestión del agua.

La creación de un CRHC es necesaria, especialmente visto que presentaría un espacio de diálogo donde participarían los Proyectos Especiales de Irrigación (PECH y Chinecas) al igual que los diferentes sectores y usuarios del agua. De ese modo se practicaría efectivamente una GIRH donde de manera colectiva se buscaría una gestión integrada y adaptativa de recursos hídricos. Sin embargo, para ello será necesario superar las diferentes barreras (socioeconómicas, institucionales y políticas) que inhiben una transformación en la gestión del agua y fortalecer instituciones inclusivas (Lynch, 2013). Para el ámbito de estudio y la cuenca del Santa es fundamental adoptar el concepto y el enfoque de “cuenca social” o cuenca “hidro-social” como un tejido social que construyen los diversos usuarios del agua (Gentes, 2008). En ese sentido, se podrían entender las complejas relaciones que se dan en torno al agua, tomando en consideración los intereses y poderes que convergen en el ámbito de una cuenca.

En segundo lugar, a nivel de ámbito del PECH hay algunas deficiencias en cuanto a la articulación y coordinación de las diversas instituciones y organizaciones competentes en el manejo del agua. La falta de integración territorial y de actores a nivel del mismo ámbito del PECH perjudica el manejo eficiente de los recursos hídricos. Si bien en términos de características socioeconómicas y físicas los intervalles y valles viejos son ámbitos muy distintos, es necesario que se integren a fin de manejar eficientemente los recursos hídricos. La falta de integración ha demostrado ser adversa, por ejemplo, ha habido problemas ambientales como la salinización de suelos y el deterioro de la calidad de agua en las partes bajas de los valles viejos. Por otro lado, el uso ineficiente de agua del Santa por los usuarios de los valles significa un desperdicio de la fuente principal de agua para los intervalles.

Del mismo modo que los dos ámbitos agrícola del PECH están diferenciados, las organizaciones de usuarios se encuentran poco articuladas. Las JUs por ley se constituyen en función a un sistema hidráulico común, sin embargo, entre sí no hay un mayor intercambio. La brecha es aún mayor si se considera la JURP cuyo ámbito de acción son los intervalles. Por ello es clave asegurar una integración y coordinación a nivel de juntas con la finalidad de intercambiar experiencias/opiniones, transferencia de tecnología y conocimientos para un manejo sostenible del agua.

Si bien hay una débil institucionalidad para la gestión de recursos hídricos del PECH, recientemente ha habido avances. Por ejemplo, se ha constituido el GETRAM Chao Chicama (Grupo Especializado de Trabajo Multisectorial) en La Libertad el cual es un espacio de articulación multisectorial para la gestión de los recursos hídricos de las cuencas de Chao, Virú, Moche y Chicama. En primer instancia el GETRAM posibilita una articulación a nivel regional para, posteriormente, crear un espacio birregional (CRHC) (ANA, 2016).

Infraestructura verde y complementariedad en el uso del agua

Para asegurar una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos, tanto de las cuencas del PECH como del Santa, se debe tener presente el enfoque integrado de cuenca. Ello implica asegurar la protección de las cabeceras de cuenca, controlar las prácticas ineficientes de uso de agua en las cuencas medias y altas y desarrollar una complementariedad entre las actividades y uso de agua en las cuencas (Lynch, 2013).

En primer lugar, uno de los instrumentos con mayor potencial para contribuir hacia una gestión eficaz de los recursos hídricos y los conflictos hídricos asociados son los MRSE. En el Perú, se han implementado MRSE en el sector de agua potable y saneamiento promovido por el MINAM-SUNASS lo cual ha posibilitado vincular actores en base al reconocimiento de la necesidad de proteger los servicios ecosistémicos hídricos a escala de cuenca (Lucich & Acosta, 2016). Más aún, permite un intercambio entre los usuarios aguas arriba-aguas abajo para asegurar un acceso equitativo al recurso y beneficios compartidos (Lucich & Acosta, 2016). En el PECH aún no se ha establecido un MRSE, sin embargo, en base a las entrevistas realizadas con especialistas hay un interés por establecer uno entre la EPS SEDALIB y la cuenca alta del Santa. No obstante, aún persisten limitantes entre ellos la desinformación sobre proyectos que actualmente se llevan a cabo en el Santa por diversas instituciones con baja coordinación entre sí.

Como parte de los MRSE se podrían desarrollar proyectos de infraestructura verde los cuales consiste en el diseño de zonas naturales o semi-naturales para proporcionar servicios ecosistémicos sosteniblemente (COSUDE, 2017). Recientemente el PECH firmó un Convenio Marco con el Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) para promover la investigación científica y conservación de los ecosistemas de montaña. Asimismo, con el SERFOR está promoviendo la forestación y reforestación en la cuenca del Santa (Chavimochic, 2018). Sin embargo, deberían realizarse también en las cuencas del PECH. Adicionalmente, se podrían implementar proyectos para la siembra y cosecha del agua basado en el conocimiento tradicional y prácticas ancestrales como la recuperación de qochas (micro-reservorios) y el sistema de amunas (canales) (Cuesta et al., 2012; AQUAFONDO, 2017).

Por otro lado, surge la necesidad de velar por el uso de agua a lo largo de las propias cuencas del PECH. Si bien el área de influencia del PECH es en las cuencas bajas, es necesario que haya un manejo eficiente del recurso aguas arriba. En ese sentido, el PECH en coordinación con las ALAs y las JUs debería monitorear las prácticas de uso de agua por los pequeños agricultores en las cuencas medias y altas y brindar apoyo técnico. Adicionalmente sería interesante llevar a cabo investigaciones sobre la complementariedad en el uso del agua (Lynch, 2013). En ese sentido, las actividades de uso de agua podrían estar mejor articuladas entre sí para asegurar no solo el cuidado del recurso, sino también se maximice la efectividad en el uso del agua. Un ejemplo son Proyectos Multipropósito en recursos hídricos que prevén una integración de usuarios de agua y tomadores de decisión bajo un enfoque transdisciplinario. Estos tratan la gestión multi-uso (p. ej. uso agrícola, doméstico, hidroenergético, ecosistémico) del recurso hídrico en un proceso participativo de gestión a largo plazo a fin de contribuir a

formular medidas robustas de adaptación frente a la posible escasez de agua (Barriga et al., *en revisión*).

Nueva Cultura del Agua: percepción y sensibilización

El trabajo de campo reveló la importancia del eje de percepción y sensibilización para avanzar hacia una gestión sostenible del agua. Así, se considera importante que los propios usuarios del agua modifiquen su percepción, actitud y conducta frente al uso del agua. El PECH cuenta con dos ámbitos diferenciados y del mismo modo la percepción y acciones de los usuarios entorno al agua es diferenciada. Las medidas de sensibilización deberán adecuarse a los usuarios, pero el trasfondo será el mismo. En ese sentido, frente a los problemas hídricos actuales es fundamental asegurar un cambio en las actitudes, valores y conductas, una incorporación de la perspectiva cultural y ética en la gestión del agua (Vargas, 2006).

Así, junto con la participación de los usuarios en la toma de decisiones, se debe promover una Nueva Cultura del Agua entre los usuarios, con cambios en sus actitudes y acciones en relación al uso del agua (Guimac et al., 2017). Por un lado, ello hace referencia a la revaloración de prácticas ancestrales como las mencionadas previamente y, por otro lado, a una modificación en las conductas no adecuadas en el uso del recurso. Así, se plantea la necesidad de un eje estratégico de comunicación y sensibilización. A raíz de las entrevistas realizadas, se entiende que –de manera distinta- en ambos ámbitos hay una falta de concientización sobre el valor del agua. Al incidir en temas de sensibilización ambiental se espera que entre las empresas agroindustriales se busque adoptar cambios en las prácticas de uso de agua entorno a la producción agroindustrial. Para los valles viejos la situación es más compleja, predomina una visión tradicional en el uso del agua y hay una resistencia a cambios en la irrigación. Ello conlleva a un uso irracional del agua lo cual no solo tiene impactos negativos ambientales, sino también socioeconómicos. Se han desarrollado programas y proyectos para que los pequeños agricultores utilicen el agua de una manera más sostenible, pero como se indica es muy complicado cambiar su mentalidad.

Es por ello que la comunicación y sensibilización debe ser trabajada en paralelo con la capacitación activa. Se debe entablar un diálogo abierto con los agricultores, tomando como aliados a los jefes de los comités. Los mismos agricultores formarán parte de un proceso de aprender haciendo en el que ellos mismos - con asesoría técnica - observen los beneficios de utilizar técnicas mejoradas de riego en parcelas demostrativas y que luego puedan ponerlas en práctica en sus propias parcelas. Al trabajar las parcelas demostrativas se estaría reforzando la importancia de manejar racionalmente los recursos hídricos y adicionalmente se estaría proveyendo a los agricultores los medios para desarrollar una agricultura más sostenible ambiental y económicamente.

6. CONCLUSIONES

- A partir del inicio del riego por el Canal Madre, las tierras eriazas de los intervalles se han convertido en espacios productivos dedicados a la agricultura que han generado alrededor de 65,900 puestos de trabajo. En el periodo 1998-2016, el área agrícola ha pasado de 1,063 ha a aproximadamente 22,438 ha lo cual ha derivado en un incremento significativo en la demanda hídrica agrícola del Santa de 289 hm³.
- En los intervalles se utiliza el riego tecnificado, pero casi el 96% del área cultivada corresponde a cultivos con elevada demanda hídrica bruta (>13,000 m³/ha): palto, espárragos, caña de azúcar y arándanos. Así, la demanda hídrica agrícola bruta actual asciende a aproximadamente 304 hm³ la cual viene generando una significativa presión sobre el agua del río Santa.
- Si bien en el PECH hubo un boom en la agroexportación de espárragos, las tendencias actuales demuestran un cambio en la producción hacia los frutales. Ello se evidencia en el incremento del área sembrada con palto y arándanos.
- En los valles viejos, el sistema de riego Santa-Chavimochic ha impulsado el desarrollo agrícola, alcanzando un área agrícola aproximada de 24,422 ha (2016). La demanda hídrica agrícola bruta de estos asciende a 292 hm³ de la cual el 74% es cubierta por el agua del Santa y el 26% restante por sus propias cuencas.
- Los dos ámbitos agrícolas dentro del PECH son marcadamente diferentes. En los intervalles hay un mayor potencial de expansión agrícola con una selección de cultivos perennes y altamente rentables bajo sistemas tecnificados de riego. Por el contrario, en los valles viejos predominan pequeñas parcelas con cultivos transitorios (alta diversificación) con una baja eficiencia de riego y potencial para su incremento, pero límites topográficos para la expansión agrícola.
- Las proyecciones en la demanda hídrica agrícola de los intervalles presentan tres posibles trayectorias a corto y mediano plazo, considerando la expansión del PECH Etapa III. Ninguno de los escenarios prevé una disminución a mediano plazo (2050) en la demanda hídrica. El escenario más pesimista E1 "Todo sigue igual" asume un incremento en esta hasta 864.1 hm³ y el más optimista E3 "Transformación socio-política" hasta 406.1 hm³.
- Las proyecciones en la demanda hídrica agrícola de los valles viejos considera la incorporación del valle de Chicama al sistema PECH. Dada la mayor posibilidad de transformación en los valles viejos debido a mayor potencial de aumento en la eficiencia de riego, se proyecta una disminución ligera en su demanda bajo el E2-2050 (-4%) y significativa bajo el E3-2050 (-41%).
- Al rango de trayectorias posibles en la demanda hídrica de los intervalles se contrapondría una tendencia significativa de disminución en la oferta hídrica del Santa, especialmente durante la época de estiaje (2030:-11.4%; 2050:-34.2%).
- Las simulaciones futuras de los ríos de los valles viejos bajo los escenarios RCP2.6 y 8.5 no presentan respuestas uniformes en el caudal, pero se prevé un incremento durante la época húmeda. El balance hídrico futuro (2050) de los valles viejos demuestra una disminución en el déficit hídrico bajo los tres escenarios de proyección de demanda. Sin embargo, la cobertura de esta tendría un máximo de 42% (E3) de modo que los valles seguirían siendo altamente dependientes de la oferta del Santa.

- El futuro balance hídrico integrado (intervalles y valles viejos) demuestra que al año 2030 habría un déficit hídrico bajo los tres escenarios de proyección en la demanda hídrica (max de -319.7 hm^3 , E1; min de -127.4 hm^3 , E3).
- Al año 2050 el déficit se agudizaría (max de -476.2 hm^3 , E1; min de -272.2 hm^3 , E3). Si se considera el funcionamiento de Palo Redondo (actualmente construido al $\sim 70\%$) se amortiguaría el déficit hídrico para el año 2030; sin embargo, al año 2050 persistiría un déficit de -85.4 hm^3 bajo el E1 y de -19.8 hm^3 bajo el E3.
- Al analizar el balance hídrico futuro se deben resaltar las altas incertidumbres en las proyecciones de demanda y oferta hídrica. Por un lado, la demanda hídrica agrícola depende en mayor medida de las dinámicas del mercado de agroexportación. Por otro lado, la oferta hídrica depende de tendencias de cambio en área glaciar, temperatura, precipitación y otras variables antrópicas (cambio de uso de suelo, deforestación, uso de agua).
- El balance hídrico futuro del PECH expone la necesidad de gestionar de manera sostenible los recursos hídricos regionales bajo un enfoque de cuenca. Frente a un clima e hidrología cambiante es fundamental virar el enfoque hacia la gestión de la demanda hídrica con una combinación de medidas estructurales y no estructurales. A mediano y largo plazo ello asegurará una mayor capacidad adaptativa del sistema PECH y de la población ante cambios hidroclimáticos. Asimismo, reducirá el potencial de conflictos hídricos y se transitará hacia una seguridad hídrica basada en la equidad en el acceso al agua.



7. RECOMENDACIONES

- CROPWAT demostró ser un software adecuado para evaluar la actual demanda hídrica agrícola del PECH, sin embargo, es fundamental que haya una mayor disponibilidad de datos meteorológicos entre ellos la ET_0 , a fin de obtener resultados más precisos y representativos.
- Dada la baja disponibilidad y calidad de datos in-situ, se recomienda llevar a cabo estudios sobre los coeficientes de cultivos en los propios valles viejos. El mismo PECH indicó que ello era una limitante para el adecuado riego de los cultivos. Así, se podría conocer los reales requerimientos de riego de los cultivos y optimizar el uso del agua.
- Los resultados de futuro balance hídrico demuestra tres posibles trayectorias. En base a ello sería óptimo que se generen espacios de diálogo entre las autoridades, tomadores de decisiones y usuarios para incentivar un desarrollo agrícola bajo en consumo de agua.
- Se recomienda realizar proyecciones en el balance hídrico hacia el año 2100 cuando habrían cambios hidroclimáticos más pronunciados.
- El modelo hidrológico de las subcuencas del PECH demostró un buen rendimiento para simular los caudales observados, sin embargo, este podría seguir siendo mejorado. Más aún se podrían incorporar las demandas adicionales (poblacional, energética) a fin de evaluar a mayor detalle el sistema hídrico.
- Entre las diferentes medidas de adaptación desarrolladas, se recomienda impulsar MRSE para conservar las cabeceras de cuenca, atenuar la posible disminución de los recursos hídricos y los conflictos hídricos.
- Se recomienda realizar estudios sobre la disponibilidad actual de agua subterránea, fuente que ha sido subexplotada por el Proyecto y considerando que el riego contribuye a la recarga del acuífero. Además de analizar los impactos de la futura demanda hídrica sobre esta y en base a ello establecer planes para su aprovechamiento sostenible.
- A fin de obtener una visión acorde con la futura disponibilidad hídrica para el PECH es necesario llevar a cabo investigaciones sobre la actual y futura demanda hídrica de Chinecas, considerando del mismo modo posibles trayectorias socioeconómicas e hidroclimáticas.
- Se debe tener presente que no solo se debe considerar la disponibilidad del agua, sino también su calidad. En ese sentido, se debe evaluar cuáles podrían ser los impactos de eventos climáticos como El Niño, retroceso glaciar, el fertirriego, etc. en la calidad de agua superficial y subterránea.
- Finalmente, como plantea Dourojeanni (2016) es importante entender que la GIRH es un medio y no un fin. En ese sentido, es fundamental comprender cabalmente el sistema hídrico a intervenir y desarrollar instrumentos específicos a éste a fin de asegurar una gestión equitativa del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrobanco. (2010). *Manejo Integrado de maíz amarillo duro*. Ascope, Perú. Retrieved from https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capacitacionesproductores/MAD/MANEJO_INTEGRADO_DE_MAIZ_AMARILLO_DURO.pdf
- Al-Najar, H. (2011). The Integration of FAO-CropWat Model and GIS Techniques for Estimating Irrigation Water Requirement and Its Application in the Gaza Strip. *Natural Resources*, 2, 146–154. <https://doi.org/10.4236/nr.2011.23020>
- Allan, J. A. (1998). Virtual water: A strategic resource, global solutions to regional deficits. *Groundwater*, 36(4), 545–546. doi:10.1111/j.1745-6584.1998.tb02825.x
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio Fao Riego y Drenaje No. 56*. Rome, Italy. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- ANA. (2012). Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. [Diapositivas PowerPoint]. Lima, Perú. Retrieved from http://www.ana.gob.pe/media/527865/pol%C3%ADtica%20y%20estrategia%20nacional_.pdf
- ANA. (2014). *Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas*. Huaraz. <https://doi.org/http://www.ana.gob.pe/media/981508/glaciares.pdf>
- ANA. (2015a). *Diagnóstico sobre los caudales ecológicos en el Perú (primera fase): contexto nacional e internacional*. Lima, Perú. Retrieved from <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1927>
- ANA. (2015b). *Evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Chicama*. Trujillo. Retrieved from <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/365>
- ANA. (2016, November). Espacios de articulación multisectorial en el Sistema Nacional de Gestión de los recursos hídricos. *Agua y Más - Revista de La Autoridad Nacional Del Agua*, 6, 32–37. Retrieved from <http://www.ana.gob.pe/publicaciones/revista-agua>
- ANA. (2018). Registro de volúmenes de agua distribuidos al sector agrario. Dirección de Administración de Recursos Hídricos (DARH). Lima, Perú.
- ANA, COSUDE, & WWF. (2015). *Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario*. Lima, Perú. Retrieved from <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/197>
- ANA & MINAGRI. (2013a). *Plan Nacional de Recursos Hídricos*. Anexo II: Análisis de escenarios. Lima, Perú. Retrieved from <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/439>
- ANA & MINAGRI. (2013b). *Plan Nacional de Recursos Hídricos*. Anexo V: Directrices de coordinación. Lima, Perú. Retrieved from <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/439>
- AQUAFONDO. (2017). *Áreas potenciales para el desarrollo de proyectos de infraestructura verde en las cuencas del CHIRILU*. Lima, Perú. Retrieved from <http://aquafondo.org.pe/wp-content/uploads/2017/11/%C3%81reas-Potenciales-para-el-Desarrollo-de-Proyectos-de-Infraestructura-Verde-en-las-Cuencas-del-CHIRILU-AQUAFONDO.compressed-4.pdf>
- Astorayme, M., García, H., Suarez, W., Felipe, O., Huggel, C., & Molina, W. (2015). Modelización hidrológica con un enfoque semidistribuido en la cuenca del río Chillón, Perú. *Revista Peruana Geo-Atmósfera*, 4, 109–124.
- Aybar, C., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., & Felipe-Obando, O. (2017). Uso del Producto Grillado “PISCO” de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Lima, Perú.
- Aylward, B. (2013). Water Resources Management. In B. Aylward (Ed.), *Environmental Water Transactions: A Practitioner's Handbook* (pp. 19–27). Ecosystem Economics.
- Bakker, K., & Morinville, C. (2013). The governance dimensions of water security : a review. *Philosophical Transaction of the Royal Society A*, 371(2002), 1–18. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0116>

- Baraer, M., Mark, B. G., Mckenzie, J. M., Condom, T., Bury, J., Huh, K. I., Portocarrero, C., Gómez, J., & Rathay, S. (2012). Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. *Journal of Glaciology*, 58(207), 134–150. <https://doi.org/10.3189/2012JoG11J186>
- Baraer, M., Mckenzie, J., Mark, B. G., Gordon, R., Bury, J., Condom, T., Gómez, J., Knox, S., & Fortner, S. K. (2015). Contribution of groundwater to the outflow from ungauged glacierized catchments: A multi-site study in the tropical Cordillera Blanca, Peru. *Hydrological Processes*, 29(11), 2561–2581. <https://doi.org/10.1002/hyp.10386>
- Barriga, L., Drenkhan, F., & Huggel, C. (en revisión). *Proyectos multipropósito para la gestión de recursos hídricos en los Andes Tropicales: planteamientos generales basados en proceso participativo*.
- BCRP. (2013). *Informe Económico y Social Región La Libertad*. Trujillo, Perú. Retrieved from <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2013/la-libertad/ies-la-libertad-2013.pdf>
- BCRP. (2016). *Caracterización del departamento de La Libertad*. Trujillo, Perú. Retrieved from <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/la-libertad-caracterizacion.pdf>
- Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Rodríguez-Díaz, J. A., Camacho, E., & Montesinos, P. (2014). Literature Review on Rebound Effect of Water Saving Measures and Analysis of a Spanish Case Study. *Water Resources Management*, 29(3), 663–678. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0839-0>
- Bernard, H. R. (2006). *Research Methods in Anthropology. Qualitative and Quantitative Approaches* (Fourth Edit). Oxford: AltaMira Press.
- Bernex, N., & Tejada, M. (2010). *Cambio climático, retroceso glaciar y gestión integrada de los recursos hídricos*. Universidad De Castilla. Lima. Retrieved from http://www.gwp.org/Global/GWP-SAM_Files/Publicaciones/Varios/2011-Cambio-Climatico.pdf
- BID, CEPAL, & MINAM. (2014). *La Economía del Cambio Climático en el Perú*. Lima Perú. Retrieved from https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37419/S1420992_es.pdf
- Boelens, R. (2014). Cultural politics and the hydrosocial cycle: Water, power and identity in the Andean highlands. *Geoforum*, 57, 234–247. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.02.008>
- Boelens, R., & Vos, J. (2012). The danger of naturalizing water policy concepts: Water productivity and efficiency discourses from field irrigation to virtual water trade. *Agricultural Water Management*, 108, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.06.013>
- Bradley, R.S., Vuille, M., Diaz, H.F. y Vergara, W. (2006). Climate change. Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science* (New York, N.Y.), 312(5781), 1755- 1756. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1128087>
- Bury, J., Mark, B. G., Carey, M., Young, K. R., Mckenzie, J. M., Baraer, M., French, A., & Polk, M. H. (2013). New Geographies of Water and Climate Change in Peru : Coupled Natural and Social Transformations in the Santa River Watershed. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(October 2012), 363–374. <https://doi.org/10.1080/00045608.2013.754665>
- Bury, J., Mark, B., McKenzie, J., French, A., Baraer, M., Huh, K. I., Zapata, M. A., & Gómez, J. (2011). Glacier recession and human vulnerability in the Yanamarey watershed of the Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change*, 105(1), 179–206. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9870-1>
- Carey, M., Baraer, M., Mark, B. G., French, A., Bury, J., Young, K. R., & McKenzie, J. M. (2014). Toward hydro-social modeling: Merging human variables and the social sciences with climate-glacier runoff models (Santa River, Peru). *Journal of Hydrology*, 518(PA), 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.006>

- Carey, M., French, A., & O'Brien, E. (2012). Unintended effects of technology on climate change adaptation: An historical analysis of water conflicts below Andean Glaciers. *Journal of Historical Geography*, 38(2), 181–191. <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2011.12.002>
- CEPAL. (2001). *Boletín Demográfico. Urbanización y Evolución de la Población Urbana de América Latina (1950-1990)*. Santiago de Chile, Chile. Retrieved from https://www.cepal.org/publicaciones/xml/4/7394/LCG2140_Tabpaíses.pdf
- CEPES. (2010). El Cambio Climático y los proyectos hidroenergéticos. *Boletín Cambio Climático y Seguridad Alimentaria*, (19), 1–3.
- Chacón Agreda, D. C. (2016). *Manejo agronómico de Passiflora edulis Sims bajo riego por goteo en Virú, La Libertad*. Universidad Nacional de Trujillo. Retrieved from http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7479/CHACON_AGREDA_Deyssi_Consuelo.pdf?sequence=1
- Chavimochic. (2018, febrero 22). *Protegen Cuenca del Río Santa*. Retrieved from <http://www.chavimochic.gob.pe/noticia.php?id=protegen-cuenca-del-rio-santa>
- CHINECAS. (2015). Sistema Hidráulico Mayor de Riego La Víbora balance hídrico anual, 2015. Áncash, Perú. Retrieved from http://pechinecas.gob.pe/web/infraestructura_de_riego/bocatoma_la_vibora_2015.pdf
- CHINECAS. (2015). Sistema Hidráulico Mayor de Riego La Huaca balance hídrico anual, 2015. Áncash, Perú. Retrieved from http://pechinecas.gob.pe/web/infraestructura_de_riego/bocatoma_la_huaca_2015.pdf
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2003). *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Research report series No 13*.
- Chevallier, P., Pouyaud, B., Suarez, W., & Condom, T. (2011). Climate change threats to environment in the tropical Andes: Glaciers and water resources. *Regional Environmental Change*, 11(SUPPL. 1), 179–187. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0177-6>
- Chuquín, D. (2016). *Aplicación de un modelo semidistribuido de precipitación-escorrentía para la evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jalón*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Condom, T., Escobar, M., Purkey, D., Pouget, J. C., Suarez, W., Ramos, C., Apaestequi, J., Tacsí, A., & Gómez, J. (2012). Simulating the implications of glaciers' retreat for water management: a case study in the Rio Santa basin, Peru. *Water International*, 37(4), 442–459. <https://doi.org/10.1080/02508060.2012.706773>
- Consuegra, D. & Vez, E. (1996). Analyse et Modélisation Intégrées du cheminement des Eaux en zones habitées, modélisation hydrologique, Application au bassin versant de la Haute Broye, IATE/HYDRAM, Swiss Institute of Technology, Lausanne, Lausanne.
- Cook, C., & Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*, 22(1), 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011>
- Coron, L., Andréassian, V., Bourqui, M., Perrin, C., & Hendrickx, F. (2011). Pathologies of hydrological models used in changing climatic conditions: a review. *IUGG 2011-Hydro-Climatology: Variability and Change*, (344), 39–44. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=24534703>
- COSUDE. (2017). *Alternativas de financiamiento público y privado del Fondo de Agua Quiroz-Chira*. Piura, Perú. Retrieved from <http://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2017/10/Alternativas-Financiamiento-FAQCH.pdf>
- Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, M. T., Postigo, J., & Peralvo, M. (2012). *Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales*. CONDESAN, SGCAN. Lima. Retrieved from <http://www20.iadb.org/intal/catalogo/PE/2013/12414.pdf>
- DGIAR-MINAGRI. (2015). *Manual N ° 1 Organización de usuarios de agua con fines agrarios*. Lima. Retrieved from <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual1.pdf>
- DDP. (2015). Reporte de Conflictos Sociales, 138. Lima, Perú. Retrieved from

- <https://www.defensoria.gob.pe/modules/Downloads/conflictos/2015/Reporte-Mensual-de-Conflictos-Sociales-N-138---Agosto-2015.2.pdf>
- Drenkhan, F. (2016). En la sombra del Cambio Global: Hacia una Gestión Integrada y Adaptativa de Recursos Hídricos en los Andes del Perú. *Espacio Y Desarrollo*, 28, 25–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201601.002>
- Drenkhan, F., Carey, M., Huggel, C., Seidel, J., & Oré, M. (2015). The changing water cycle: climatic and socioeconomic drivers of water-related changes in the Andes of Peru. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(December), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/wat2.1105>
- Drenkhan, F., Huggel, C., García, J., & Seidel, J. (2016). Objetivos del modelamiento hidrológico integrado bajo cambios hidroclimáticos y socioeconómicos en la Cordillera Blanca, Perú. In *XXVII Congreso Latinoamericano de hidráulica* (pp. 1–10). Lima.
- Drenkhan, F., Guardamino, L., Huggel, C., & Frey, H. (en prensa). Current and future glacier and lake assessment in the deglaciating Vilcanota-Urubamba basin, Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.07.005>
- Drenkhan, F., Huggel, C., García Hernández, J., Fluixá Sanmartín, J., & Muñoz, R. (en preparación). Integrated water resources modelling under multiple drivers of change in the Santa basin, Western Andes of Peru.
- Dourojeanni, A. C. (2016). GIRH: de la teoría a la práctica. In P. Urteaga & A. Guevara Gil A. Verona (Eds.), *El Estado frente a los conflictos por el agua. Terceras Jornadas de Derecho de Aguas* (pp. 199-208). Lima, Perú: PUCP-CICAI.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Barros, V., Field, C.B., Zwickel, T., Schlömer, S., Ebi, K., Mastrandrea, M., Mach, K.J., von Stechow, C. (2010). IPCC Workshop on Socio-Economic Scenarios.
- Eguren, F., & Marapi, R. (2015, May). La agroexportación en el Perú. *Revista Agraria*, 7–14. Retrieved from http://www.larevistaagraria.info/sites/default/files//revista/LRA173/LRA173_Agroexportacion_MesaRedonda.pdf
- Endara Huanca, S. (2016). *Ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital*. Lima, Perú. Recuperado de <https://senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-34.pdf>
- FAO. (2013). *Afrontar la escasez de agua - un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Rome, Italy. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/018/i3015s/i3015s.pdf>
- Fluixá, J., García Hernández, J., Huggel, C., Frey, H., Muñoz, R., Barriga, L., Cerna, M., & Nuñez, J. (2018). *Resumen Ejecutivo: Modelización hidrológica de la cuenca del Cañete y evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos*. Lima.
- Foehn, A., Garcia Hernández, J., Roquier, B., & Paredes Arquiloa, J. (2016). *RS MINERVE - User's manual v2.4*. Switzerland.
- Fonseca, E., Verano, C., & Mariluz, J. P. (2012). *Huella hídrica del cultivo del espárrago en el Perú*. ANA. Lima, Perú. Retrieved from <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/545>
- French, A. (2016). ¿Una nueva cultura de agua?: inercia institucional y gestión tecnocrática de los recursos hídricos en el Perú. *Anthropologica*, (37), 61–86.
- Gaita, A. (2013). Influencia de la desglaciación de la Cordillera Blanca en las descargas del Río Santa y su impacto en los Proyectos de riego Chavimochic y Chincas. *Foro Internacional de Glaciares*. Foro llevado a cabo por la ANA, Huaraz, Perú. Retrieved from <https://es.slideshare.net/InfoAndina/foro-glaciares-julio-2014-gaita>
- Gaita, A. (2014). *Proyecto Hidroenergético Chavimochic: motor de desarrollo de la economía nacional* [Diapositivas PowePoint]. Trujillo, Perú. Retrieved from http://www.cip-trujillo.org/img_eventos/pdf/SEMANA CAPITULO CIVILES/Presentacion CIP 21.10.2014.pdf
- García Hernández, J., Paredes Arquiloa, J., Foehn, A., & Roquier, B. (2016). *RS Minerve - Technical*

- Manual v2.7. Switzerland.
- Gentes, I. (2008). Gobernanza, gobernabilidad e institucionalidad para la gestión de cuencas Estado de arte. In *Seminario Internacional de Cogestión de Cuencas Hidrográficas: Experiencias y Desafíos* (pp. 27–36). Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2983e/A2983e04.pdf>
- GIZ. (2014). *The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments*. Bonn. Retrieved from https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=203
- Golte, J. (1980). Notas sobre la agricultura de riego en la costa peruana. *Allpanchis*, 15, 57-67.
- Gómez, R. (2007). *La agricultura comercial peruana: incentivos de mercado para la inversión*. Lima, Perú.
- Gómez Pando, L., & Aguilar Castellanos, E. (2016). *Guía del cultivo de la quinoa. Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Vol. 1). Lima. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- GORE La Libertad, & PECH. (2013). *Plan Estratégico Institucional PEI 2013-2016*. Trujillo. https://doi.org/http://www.chavimochic.gob.pe/portal/Ftp/Transparencia/Documentos_Gestion/DG_PEI.pdf
- GORE La Libertad, & PECH. (2014). *Memoria anual 2014 Proyecto Especial Chavimochic*. Trujillo. <https://doi.org/http://sir.regionlalibertad.gob.pe/admin/docs/Memoria%20Institucional%20PECH%202014.pdf>
- Grey, D., & Sadoff, C. W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545–571. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>
- Guimac, M., Tamariz, A., Bernex, N., & Castro, J. C. (2017). Agua y Sociedad. In *El agua en el Perú: Situación y perspectivas 2017* (Nicole Ber, pp. 1–22). Lima: Instituto Científico del Agua.
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
- GWP. (2000). *Integrated Water Resources Management*. Estocolmo, Suecia.
- GWP. (2012). *Water Demand Management: The Mediterranean Experience*. Retrieved from [http://www.gwp.org/Global/ToolBox/Publications/Technical Focus Papers/01 Water Demand Management - The Mediterranean Experience \(2012\) English.pdf](http://www.gwp.org/Global/ToolBox/Publications/Technical%20Focus%20Papers/01%20Water%20Demand%20Management%20-%20The%20Mediterranean%20Experience%20(2012)%20English.pdf)
- Hernández, C. (2015). *Determinación de Volúmenes de Agua para la Asignación en Bloque del Río Santa y del Río Moche, para el Valle Moche*. Trujillo, Perú.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. (J. Mares, Ed.), *Metodología de la investigación* (Quinta Edición). México D.F.: McGRAW-HILL. <https://doi.org/10.1016/B978-95-27-00000-0>
- INEI. (2013). *Resultados definitivos IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Lima, Perú. Retrieved from <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
- INEI. (2015). *Día Mundial de la Población*. Lima, Perú. https://doi.org/https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Lib1251/Libro.pdf
- INEI (2016). Cuadro 2: Perú: Producto Bruto Interno por Años, según Departamentos Valores a Precios Constante de 2007 (Participación del VAB en el PBI).
- INEI. (2017a). Departamento Ancash: Población total proyectada al 30 de Junio y ubicación geográfica de la capital legal del distrito, 2017. Lima, Perú.
- INEI. (2017b). Departamento La Libertad: Población total proyectada al 30 de Junio y ubicación geográfica de la capital legal del distrito, 2017. Lima, Perú.
- Inga Durango, A. N. (2016). El proyecto de Chavimochic y su impacto en la economía del departamento de La Libertad. *Ex Cathedra En Negocios*, 1(2), 26–35.
- IPCC. (2001). *Anexo B. Glosario de términos. Informe de Síntesis - Cambio Climático 2001*.

- Retrieved from <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- IPCC. (2014). Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, págs. 127-141.
- IPE. (2016). *Índice de Competitividad Regional - INCORE 2016*. Lima, Perú. Retrieved from http://www.lampadia.com/assets/uploads_documentos/a49f5-indice-de-competitividad-regional-incore-2016-vp.pdf
- Jensen, R., Asadullah, A., Lasarte, A., Miralles, F., & Muñoz, R. (2015). *Impactos del Cambio Climático durante las Sequías en la ciudad de Trujillo, Perú. Casos de Estudios de Adaptación al Cambio Climático*.
- JURP. (2017). Consolidado de cultivos áreas nuevas. Trujillo, Perú.
- Katz, D. (2016). Undermining demand management with supply management: Moral hazard in Israeli water policies. *Water (Switzerland)*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/w8040159>
- Kohli, A., Frenken, K., & Spottorno, C. (2010). *Disambiguation of water use statistics. FAO, The AQUASTAT Programme*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/013/al815e/al815e00.pdf>
- Lynch, B. D. (2012). Vulnerabilities, competition and rights in a context of climate change toward equitable water governance in Peru's Rio Santa Valley. *Global Environmental Change*, 22(2), 364–373. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.02.002>
- Lynch, B. D. (2013). River of Contention: Scarcity Discourses and Water Competition in Highland Peru. *Ga. J. Int'l & Comp. L.*, 42(69), 69–92.
- Lucich, I., & Acosta, L. (2016). Mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos para la gestión de los conflictos por el agua en el Perú. In P. Urteaga, A. Guevara Gil & A. Verona (Eds.), *El Estado frente a los conflictos por el agua. Terceras Jornadas de Derecho de Aguas* (pp. 163-178). Lima, Perú: PUCP-CICAI.
- Mark, B. G., Bury, J., McKenzie, J. M., French, A., & Baraer, M. (2010). Climate Change and Tropical Andean Glacier Recession: Evaluating Hydrologic Changes and Livelihood Vulnerability in the Cordillera Blanca, Peru. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4), 794–805. <https://doi.org/10.1080/00045608.2010.497369>
- Marquezado, H. (2010). Proyecto CHINECAS. Chimbote, Perú.
- Marshall, A. (2014). *Apropiarse del desierto: agricultura globalizada y dinámicas socioambientales en el caso peruano. El caso de los oasis de Virú e Ica-Villacuri*. Lima: IFEA.
- Marshall, A., & Vos, J. (2017). Conquering the desert: Drip irrigation in the Chavimochic system in Peru. In *Drip Irrigation for Agriculture* (pp. 134-150). Routledge.
- Mills-Novoa, M., & Taboada Hermoza, R. (2017). Coexistence and Conflict : IWRM and Large-Scale Water Infrastructure Development in Piura, Peru. *Water Alternatives*, 10(2), 370–394.
- MINAGRI. (n.d.). *Cartilla N° 14: condiciones agroclimáticas del cultivo de caña de azúcar*. Lima, Perú.
- MINAGRI. (2015). *Manual del Cálculo de eficiencia para Sistemas de Riego*. Lima, Perú. Retrieved from http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- MINAGRI (2017). Serie de Estadísticas de Producción Agrícola (SEPA). Available at http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult
- MINAGRI-SIEA. (2016). *Botelín Estadístico de Producción Agrícola, Pecuaria y Avícola*. Lima, Perú. Retrieved from <http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/produccion-agricola-pecuaria-avicola-dic2016.pdf>
- MINAGRI-ANA. (2010). *Proyecto "Obras de Control y Medición de Agua por Bloques de Riego en el Valle Moche."* Lima. Retrieved from http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/informe_principal_moche_0

- pdf
- Mostacero, R. (2013). *Proyecto Especial Hidroenergético Chao-Virú-Moche-Chicama (Chavimochic)* [Diapositivas PowerPoint]. Trujillo, Perú. Retrieved from <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2013/la-libertad/eer-la-libertad-2013-mostacero.pdf>
- Muñoz Portugal, I. (2011). Desigualdades en la distribución del agua de riego. El caso del valle de Ica. In J. León Castilla & J. M. Iguíñiz Echevarría (Eds.), *Desigualdad distributiva en el Perú: dimensiones* (Primera, pp. 269–290). Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Murillo, J. (2013). *La entrevista: metodología de investigación avanzada*. Retrieved from [https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/Met_Inves_Avan/Presentaciones/Entrevista_\(trabajo\).pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/Met_Inves_Avan/Presentaciones/Entrevista_(trabajo).pdf)
- ONERN. (1973a). Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa: Cuencas de los ríos Virú y Chao. Lima, Perú.
- ONERN. (1973b). Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa: Cuenca del río Moche. Lima, Perú.
- ONERN. (1973c). Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa: Cuenca del río Chicama. Lima, Perú.
- Oré, M. T. (2011). Las luchas por el agua en el desierto iqueño: el agua subterránea y la reconcentración de tierras y agua. In R. Boelens, M. Zwaantje, & C. Leontien (Eds.), *Justicia Hídrica: acumulación, conflicto y acción social* (pp. 423–435). Lima: Instituto de Estudios Peruanos.
- Oré, M. T., & Geng, D. (2015). Políticas Públicas del agua en las regiones: las viscosidades para la creación del consejo de recursos hídricos de la cuenca Ica-Huancavelica. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*, 12(3), 1–26. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722015000300007
- Oré, M. T., & Rap, E. (2009). Políticas neoliberales de agua en el Perú. Antecedentes y entretelones de la ley de recursos hídricos. *Debates En Sociología*, (34).
- Ortiz, I. (2016). La experiencia del Tribunal Nacional de Resolución de Controversias Hídricas de la Autoridad Nacional del Agua. In P. Urteaga, A. Guevara Gil & A. Verona (Eds.), *El Estado frente a los conflictos por el agua. Terceras Jornadas de Derecho de Aguas* (pp. 125-140). Lima, Perú: PUCP-CICAI.
- Palpa, M. (2013). ANA resuelve darle más porcentaje de agua del río Santa a Chavimochic. Retrieved from <http://www.chimbotenlinea.com/chinecas/15/09/2013/ana-resuelve-darle-mas-porcentaje-de-agua-del-rio-santa-chavimochic>
- Paredes, J., & Guerrero, A. (2013). Balance hídrico para uso agrícola en la Cuenca Media y Baja del río Moche, área de influencia del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC, Perú. 2010. *REBIOLEST*, 1(2), 1–9.
- PECH. (2016). *Sistema de Tratamiento de Agua Potable de Trujillo*. Trujillo, Perú. Retrieved from <http://www.chavimochic.gob.pe/images/boletines/ptap.pdf>
- PECH. (2017a). Volumen neto histórico de agua para riego del Sistema Chavimochic. Trujillo, Perú.
- PECH. (2017b). Áreas con tecnificación de riego valles Moche, Virú y Chao. Trujillo, Perú.
- Perú. (2009). *Ley De Recursos Hídricos 29338*. Lima, Perú. Retrieved from http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/ley_29338_0.pdf
- Perú. (2014). Resolución Jefatural N° 219-2014-ANA. Lima, Perú. Retrieved from http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.219_reserva_chavimochic_0_0.pdf
- Peñaherrera, C. (2004). Geografía. *Enciclopedia Temática del Perú*, 146-147. Lima, Perú.
- PNUD. (2009). Viene de las alturas: disponibilidad y usos del agua. In M. Editores (Ed.), *Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2009: Por una densidad del Estado al servicio de la gente*

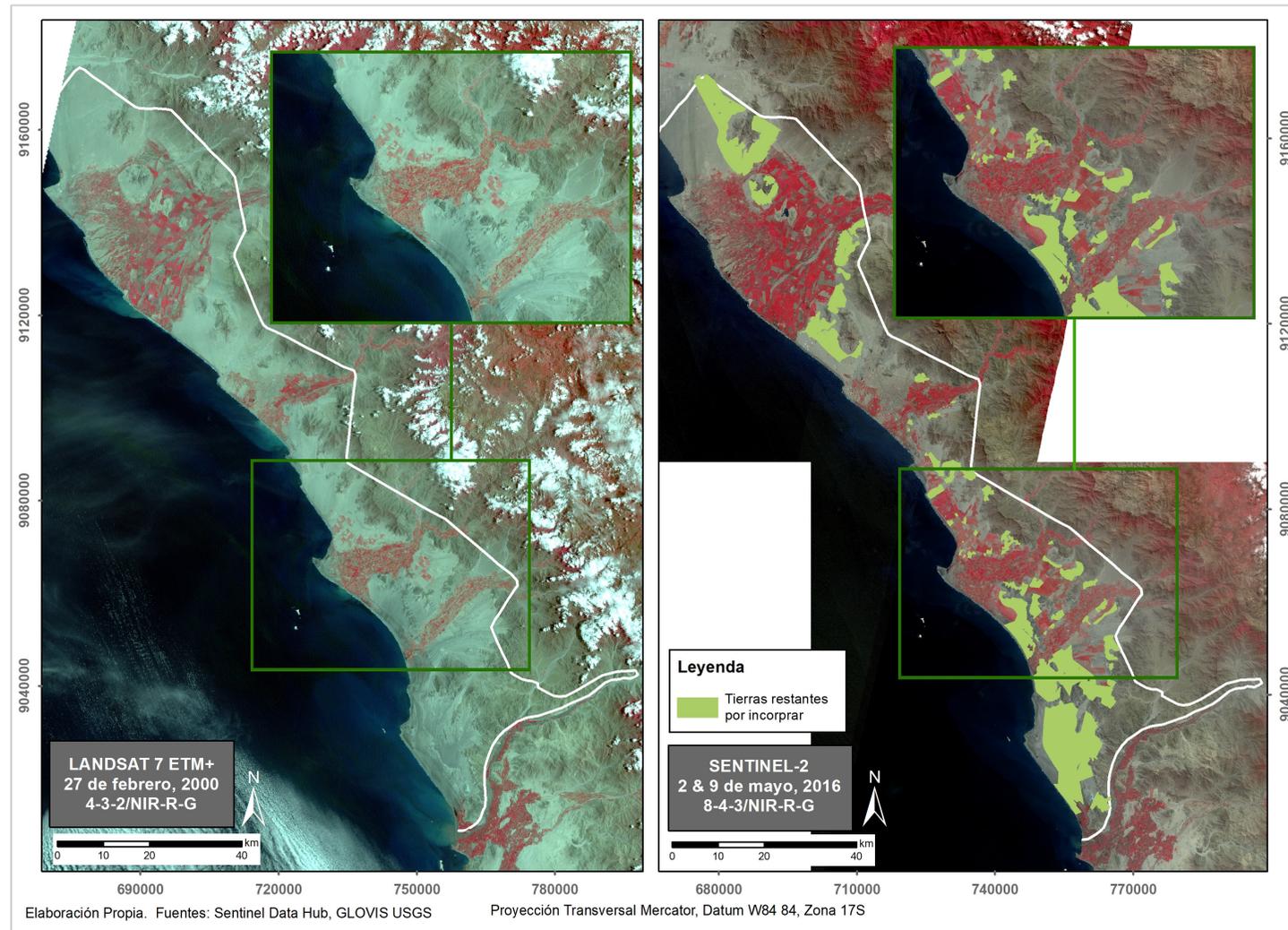
- (1st ed., pp. 57–79). Lima: Impresores SAC. Retrieved from <http://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/library/poverty/InformeDesarrolloHumano2009.html>
- Pochat, V. (2008). Principios de gestión integrada de los recursos hídricos: Bases para el desarrollo de planes nacionales. *Global Water Partnership–GWP*, 12. Retrieved from https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/sobre-girh/2008-principios-de-girh-base-para-el-desarrollo-de-planes-nacionales.pdf
- ProInversión. (2013). *Concesión de Obras Hidráulicas Mayores del Proyecto Chavimochic. ProInversión*. Retrieved from http://www.proyectosapp.pe/RepositorioAPS/%5C0/2/JER/PC_CHAVIMOCCHIC/PRESENTACION_CHAVIMOCCHIC_12_12_13.pdf
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Caceres, B., Ceballos, J., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J. E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, M., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., Ginot, P., Maisincho, L., Mendoza, J., Ménégos, M., Ramirez, E., Ribstein, P., Suarez, W., Villacis, M., & Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere*, 7(1), 81–102. <https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>
- Raes, D. (2012). The ETo Calculator Reference Manual Version 3.2. *Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome*. Retrieved from http://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/faowater/docs/ReferenceManualV32.pdf
- Rijsberman, F. R. (2006). “More Crop per Drop”: Realigning a Research Paradigm. In M. Giordano, F. R. Rijsberman, & R. M. Saleth (Eds.), *“More Crop per Drop”: Revisiting a Research Paradigm* (pp. 8–21). London. Retrieved from <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/37400>
- Rouse, J.W., Jr.; R.H. Haas; J.A. Schell; D.W. Deering (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Progress Report, Sep. 1972–Nov. 1974. 390 p. Remote Sensing Center; Texas A&M University. College Station, Texas.
- Santillana, R. A. (2016). *Páprika, Efecto de la concentración de ácido giberélico en el crecimiento y rendimiento de tres cultivares de pimiento páprika (Capsicum annum L.)*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Acuña, D., Cochachin, A., Davila, L., Frey, H., Giráldez, C., Gómez, J., Huggel, C., Jacques-Coper, M., Loarte, E., Salzmann, N., & Vuille, M. (2014). Climate trends and glacier retreat in the Cordillera Blanca, Peru, revisited. *Global and Planetary Change*, 119, 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.05.005>
- Seeman, M. (2015). *Water Security, Justice and the Politics of Water Rights in Peru and Bolivia* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Smith, M. (1992). *CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management - Fao Irrigation and drainage paper 46*. Rome, Italy.
- SUNAT. (2018). Estadísticas de Comercio Exterior, Cuadros No. 61 y 62. Retrieved from http://www.sunat.gob.pe/estad-comExt/modelo_web/boletines.html
- Suray Paita, M. (2017). *Situación actual del cultivo del arándano (Vaccinium corymbosum L.) en Huarney*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Surendran, U., Sushanth, C., Mammen, G., & Joseph, E. (2015). Modelling the crop water requirement using FAO-CROPWAT and assessment of water resources for sustainable water resource management : A case study in Palakkad district of humid tropical Kerala , India. *Elsevier*, 4, 1211–1219. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.154>
- Swyngedouw, E. (2009). The Political Economy and Political Ecology of the Hydro-Social Cycle. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, (142), 56–60. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2009.00054.x>
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *American Meteorological Society*, 93(4), 485–498. [XVI](https://doi.org/10.1175/BAMS-</p>
</div>
<div data-bbox=)

D-11-00094.1

- Tellez, A. (2016). *Modelación hidrológica del sistema de explotación gállego-cinca de la confederación hidrográfica del ebro mediante el modelo de precipitación-escorrentía HBV*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Tibebe, M., & Zemadim, B. (2015). Water Demand Analysis and Irrigation Requirement for Major Crops at Holetta Catchment , Awash Subbasin , Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 5(15), 117–128.
- Torres-Muga, L. (2011). *Geografía del Perú. Aspectos físicos, humanos y económicos*. Lima, Perú. Retrieved from <http://www.lilianatorresmuga.net/wp-content/uploads/geo1.pdf>
- Uribe Lescano, J. A. (2016). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una empresa productora de granada (Punica granatum L. var. Wonderful) para su comercialización en el mercado internacional*. Univerdad Nacional Agraria La Molina. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2726/E21-U7-T.pdf?sequence=1>
- Vargas, R. (2006). *La cultura del agua: lecciones de la América indígena*. Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, UNESCO. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001921/192168s.pdf>
- Vera, R. (2014, February). Los nuevos índices de desarrollo humano (IDH) en el Perú. *Actualidad Gubernamental*, 64, 1–4. Retrieved from http://aempresarial.com/servicios/revista/63_55_TTXKJLYUPMPVFFDIUVDNVDLWEBSVP LZJFWTOHRIWEYSKEVSYQW.pdf
- Viviroli, D., Archer, D. R., Buytaert, W., Fowler, H. J., Greenwood, G. B., Hamlet, A. F., Huang, Y., Koboltsching, G., Litaor, M. I., López-Moreno, J. I., Lorentz, S., Schädler, B., Schreier, H., Schwaiger, K., Vuille, M., & Woods, R. (2011). Climate change and mountain water resources: Overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2), 471–504. <https://doi.org/10.5194/hess-15-471-2011>
- Vuille, M., Bradley, R., Werner, M., & Keimig, F. (2003). 20th Century Climate Change in the Tropical Andes: Observations and model results. *Clim Change*, 59, 75–99. https://doi.org/doi:10.1007/978-94-015-1252-7_5
- Vuille, M., Franquist, E., Garreaud, R., Lavado Casimiro, W. S., & Cáceres, B. (2015). Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1–15. <https://doi.org/10.1002/2015JD023126>. Received
- Vuille, M., Kaser, G., & Juen, I. (2008). Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation. *Global and Planetary Change*, 62(1–2), 14–28. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.11.003>
- WMO. (2001). Tools for water use and demand management in South Africa. *Technical Reports in Hydrology and Water Resources*, 33(73), 62. <https://doi.org/10.2174/1874434600802010058>
- WWAP. (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*. Paris. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>
- WWAP. (2016). *The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs*. Paris. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002439/243938e.pdf>
- Yarahmadi, J. (2003). *The integration of satellite images, GIS and CROPWAT model to investigation of water balance in irrigated area. A case study of Salmas and Tassoj plain, Iran*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschedeh. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/242696435_The_integration_of_satellite_images_GIS_and_CROPWAT_model_to_investigation_of_water_balance_in_irrigated_area.

ANEXOS

Anexo 1: Expansión de la frontera agrícola del PECH (2010-2016)



Anexo 2: Patrón de entrevistas para tomadores de decisión

<i>Entrevista</i>	<i>Nº</i>	<i>Duración</i>		<i>Fecha</i>	
<i>Nombre y apellido</i>		<i>Cargo</i>		<i>Institución</i>	
<i>Correo</i>					
<i>Lugar</i>					
<i>Dirección</i>					

GESTIÓN Y GOBERNANZA DEL AGUA

- ¿Qué tan articuladas se encuentran las juntas de regantes, riego y las ALAs con el PECH?
- ¿Qué instituciones determinan la asignación de agua para los diferentes sectores y usuarios de agua?
- ¿Qué nivel de implementación de la nueva Ley de RR. HH (p. ej. CRHC, ALA, AAA) tiene actualmente el ámbito del PECH? (ALAs Chao-Virú-Moche y Chicama y CRHC del Santa)

TÉCNICAS DE RIEGO Y ACCESO AL AGUA

- ¿Qué técnicas de riego son utilizadas en el PECH? ¿Cuál es su eficiencia (%)?
- ¿Qué medidas han sido implementadas para aumentar la eficiencia de riego?
- ¿Cómo se determina el volumen de agua asignado para el proyecto (sector agrícola)?
- Costo del agua, cómo se suministra y cómo se regula su suministro
- ¿Qué diferencias existen entre el acceso y volumen de agua asignado a los pequeños agricultores (valles viejos) y las agroindustrias (Intervalles)?

OFERTA DE AGUA

- ¿Usted ha notado cambios en el caudal del río Santa?
- ¿Se han registrado cambios en los caudales de los principales ríos del proyecto y en el volumen del Canal Madre en la última década?
- ¿Qué fuentes alternativas de agua existen?
- ¿Cuál es el estado actual del agua subterránea dentro del ámbito del PECH?

CULTIVOS/DEMANDA DE AGUA

- ¿Cuáles son los cultivos principales del PECH? ¿Ha habido una variación en ellos a lo largo del desarrollo del PECH? ¿Por qué?
- ¿Qué tendencias han sido observadas en la selección de cultivos?
- ¿Cómo se constata la siembra real de los cultivos en relación a la declaratoria de intensión de riego? ¿Existe alguna sanción para el incumplimiento de dicha declaratoria?
- ¿Ha notado usted cambios en la demanda hídrica por el PECH? ¿De qué sector (agrícola, energético, doméstico)? ¿Podría indicar aproximadamente desde cuándo y en qué magnitud?
- ¿Se ha determinado qué cultivos van a ser sembrados en la Etapa III? ¿Existen recomendaciones/restricciones?
- ¿Existen cultivos alternativos resistentes a climas áridos (menor consumo) y rentables? ¿Se ha considerado su siembra en el PECH?
- ¿Qué beneficios se esperan de la construcción de la Presa Palo redondo?

COMPETENCIAS Y CONFLICTOS DE AGUA

- ¿Qué eventos de conflictos recuerda o tiene referencia que se han manifestado desde el inicio del PECH (1986) hasta la fecha (2017)? ¿Cuál ha sido su origen? ¿Han sido resueltos?
- ¿Qué diferencia existe entre el manejo del agua por el PECH y Chincas? ¿Existe alguna tensión geopolítica entre ambos proyectos por el uso del agua? De ser así ¿qué recomendaciones para su solución podría mencionar?
- ¿La derivación de agua por el PECH ha generado conflictos entre los sectores y usuarios de agua del Santa? ¿Cuáles conflictos?
- ¿A nivel del PECH, existen competencias por el agua entre los pequeños agricultores y las agroindustrias? ¿A quién se ha priorizado?

DESAFÍOS/ADAPTACIÓN

- ¿Qué desafíos se presentan para el desarrollo del proyecto?
- ¿Se ha incorporado la incertidumbre del cambio climático en estudios a mediano y largo plazo del proyecto? Si la respuesta es afirmativa, ¿cómo se han realizado (métodos y técnicas utilizadas y variables consideradas)?
- ¿Se han formulado estrategias para afrontar el cambio climático, cambios (posible aumento) en la demanda y (posible disminución) en la oferta hídrica?
- ¿Qué tipos de estrategias adaptativas deben implementarse para afrontar el cambio climático y cambios (posible aumento) en la demanda hídrica?



Anexo 3: Patrón de entrevistas para empresas agroindustriales

<i>Entrevista</i>	<i>Nº</i>	<i>Duración</i>		<i>Fecha</i>	
<i>Nombre y apellido</i>		<i>Cargo</i>		<i>Institución</i>	
<i>Correo</i>					
<i>Lugar</i>					
<i>Dirección</i>					

HISTORIA DEL FUNDO

- ¿Desde cuándo existe el fundo? ¿Qué había antes en estas zonas? ¿Qué superficie tiene el fundo (ha)?
- ¿A qué se dedica la empresa? (exportación, agroindustria)
- ¿Qué porcentaje se encuentra cultivado?
- ¿Qué se ha hecho para cultivar estas nuevas tierras?
- ¿Está proyectada la adquisición de nuevas tierras agrícolas del PECH? ¿Dónde?

CULTIVOS

- ¿Qué cultivos siembra? ¿Por qué? ¿Cuál es su extensión (ha) y porcentaje del fundo?
- ¿Cuál es el mercado final para la producción agrícola (local, nacional, internacional)? Si es que el mercado es internacional ¿qué países son los principales importadores?
- ¿Ha variado la extensión de área cultivada y el tipo de cultivos sembrados en los últimos 10 años? ¿Por qué?
- ¿Ha considerado usted la siembra de cultivos alternativos con bajo consumo de agua? ¿Por qué?

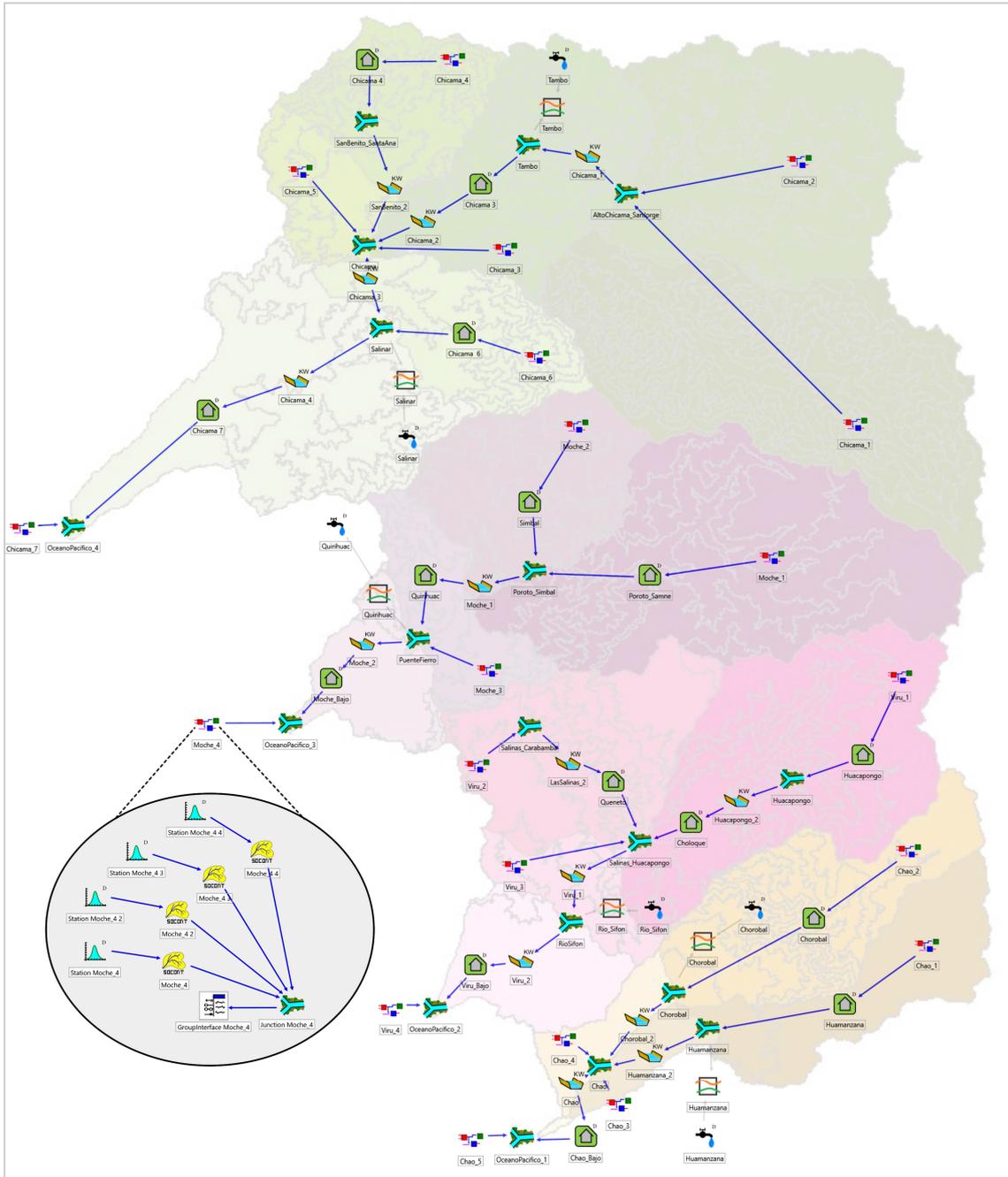
RIEGO

- ¿Qué tipo de riego utiliza y cuál es su ventaja?
- ¿Cuál es la procedencia del agua utilizada? ¿Cuál es la frecuencia de riego?
- ¿Cuál es el volumen total de agua consumida en el fundo y por cultivo en una campaña agrícola?
- ¿Cuentan con métodos de cálculo de demanda hídrica/consumo de agua por cultivo? (estaciones meteorológicas, cálculo de ETo, Kc de Cultivo)
- ¿Previo a la siembra, realizan y entregan una declaratoria de intensidad de riego a la autoridad pertinente?
- ¿Cuál es el organismo/autoridad que regule el uso del agua? ¿Junta de usuarios, comisión de regantes? ¿Cuánto es el cobro por el agua?

COMPETENCIAS Y CONFLICTOS DE AGUA

- ¿Ha observado usted cambios en el caudal del río Santa o el volumen de agua disponible en el Canal Madre? ¿Se ha visto afectado por ello? ¿Cómo?
- ¿Existen conflictos entre las empresas agroindustriales por el acceso al agua? ¿Cuál es la relación con los pequeños agricultores en los valles viejos?
- ¿Qué opina de la expansión agrícola en la zona de Intervalles por el PECH? ¿Considera que ha sido positiva/negativa?
- ¿Cree usted que hay un manejo eficiente de los recursos hídricos por el PECH? ¿Por qué?
- ¿Cree la creciente demanda hídrica y el cambio climático tendrán impactos en la futura disponibilidad de agua?

Anexo 4: Modelo hidrológico del PECH desde la interface de RS MINERVE

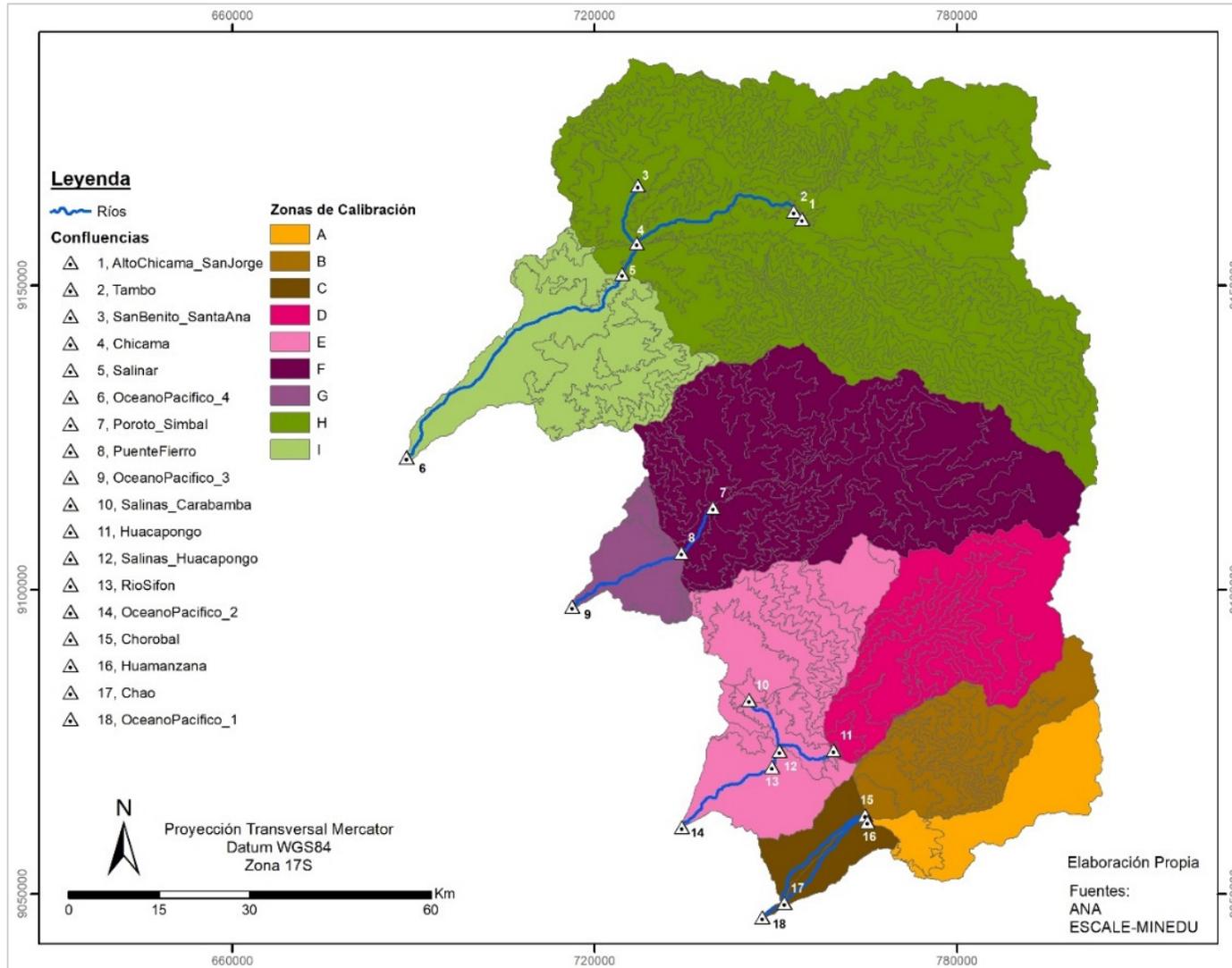


Objetos hidrológicos

	Modelo SOCONT		Confluencia		Modelo
	Estación meteorológica virtual		Fuente		Demanda
	Río Kinematic Wave		Comparador		

Fuente: Foehn et al. (2016)

Anexo 5: Zonas de calibración para el modelamiento hidrológico



Anexo 6: Entrevista a tomadores de decisiones

Entrevista	Nº 7	Duración	01:10	Fecha	02/03/18
------------	------	----------	-------	-------	----------

1. CULTIVOS

- Como todo proyecto de inversión se tiene que establecer una cédula de cultivo pero en la práctica va cambiando, eso se hizo para las Etapas I, II y III. Se tiene una cédula pero no necesariamente es lo que pase en la realidad.
- En las áreas nuevas de la Etapa III no se cree que haya caña de azúcar. No entiende porque se mantiene la caña de azúcar en la zona de arenales en los Intervalles porque es un cultivo con alta demanda de agua. La rentabilidad de la caña no es la mayor, es un cultivo para ociosos porque la inversión es menor y no tiene plagas.
- Todavía a nivel nacional no hay apoyo sobre qué cultivos deben sembrarse, no hay zonificación para evitar sobreproducción y cultivo en función al mercado. No hay alguien que estructure/zonifique el cultivo.

2. RIEGO

- El riego del palto no es lo mismo en área de mejoramiento que en los Intervalles porque en los Intervalles el suelo es arenoso.
- En Chavimochic es pago contra-entrega. Las empresas tienen caudalímetro, pagan en función al consumo.
- Virú es uno de los grandes problemas en drenaje. El gran uso de agua en los Intervalles, por geología, va hacia los valles viejos.
- El uso de riego por goteo no significa que seas eficiente. El sistema es eficiente, pero el usuario no siempre lo es. Los empresarios hacen uso ineficiente de agua por el tiempo que riegan, que hacen que haya una gran filtración. Como son empresas hay también una falta de capacitación, el riego no es uniforme, con criterios diferentes de riego.
- A nivel de eficiencia tienen un software el SISGER en Moche para la programación y distribución del agua ordenada. En SISGER se ingresa información de cultivos, dotación de agua, infraestructura. Con el software se ha mejorado el uso del agua porque había un tráfico fuerte de agua donde se revendía.
- En los otros valles tienen IDIS (software más antiguo) en proceso de implementación de SISGER.
- Lo ideal sería que en función al cultivo se asigne un módulo de riego, pero eso no pasa porque Chavimochic no tienen autoridad, se tienen que ganar la confianza con el agricultor. Entonces de todos modos se les asigna a los agricultores la cantidad de agua que ellos piden aun cuando en el SISGER tienen datos de cultivos y se podría idealmente restringir el uso a los requerimientos reales de los cultivos.
- Los agricultores piensan que si se les quita el agua van a perder producción, pero no es así porque contra más riego se pierden nutrientes del suelo.
- No pueden restringir el agua, pero sí se va a entregar ordenadamente para evitar las pérdidas en el sistema, no en las parcelas. Se ha coordinado a nivel de juntas que los usuarios pidan en promedio la misma cantidad de agua de riego.
- Se busca mejorar el sistema de riego, optimizar el uso de agua. No se puede mejorar el sistema de riego hacia tecnificado por goteo. Se busca mejorar el riego a través de la programación de riego y sistemas más eficientes de riego.

- Hubo un programa de nivelación del terreno, mangas, tubos rectos y sifones para optimizar el riego. Pero el problema viene cuando hacen cambio de cultivo, donde los agricultores tiran y vuelven a regar por gravedad. Mientras no haya supervisión permanente no lo mantienen.
- Ahora antes de que salga la cosecha se les diseña el terreno según longitud de surco, pendiente, orientación, ancho, se mejora para regar de manera más uniforme. El problema es que no hay mucho personal. La gente tiene que ir mejorando poco a poco.

3. OFERTA DE AGUA

- Repartición de agua del Santa: Chincas (67%) PECH (33%) que aumenta durante estiaje.
- Dentro de la misma concepción de Chavimochic se había considerado Palo Redondo, pero no es suficiente si no se trabaja a nivel de eficiencia en todo el ámbito y también se explota el agua subterránea.
- Además se está viendo la posibilidad de hacer embalses en las partes altas de los valles (Virú y Moche). Eso quitaría la presión sobre los recursos hídricos y aportaría también a la parte baja.
- Están atrasados en la gestión.
- Tienen un programa para la explotación de aguas subterráneas a nivel de valles para los pequeños agricultores. En la zona de Intervalles no hay acuífero, recién quizás se está formando. Por la conformación de los terrenos el agua va hacia los valles que son la parte baja. Perforar un pozo para un agricultor no es posible, la idea era asociarse.
- Cambio generacional, los más antiguos son los más reacios, trabajar con los hijos les está dando resultados.
- Desde el 2005 están trabajando en Pallasca, Callejón de Huaylas. Pérdida de suelo, erosión, sedimentación, menor regulación hídrica y menor calidad de agua.
- En el 2011 se tomó el reto de sembrar un millón de plántones en la cuenca del Santa con convenio con los alcaldes y con INAIGEM.

Calidad de agua

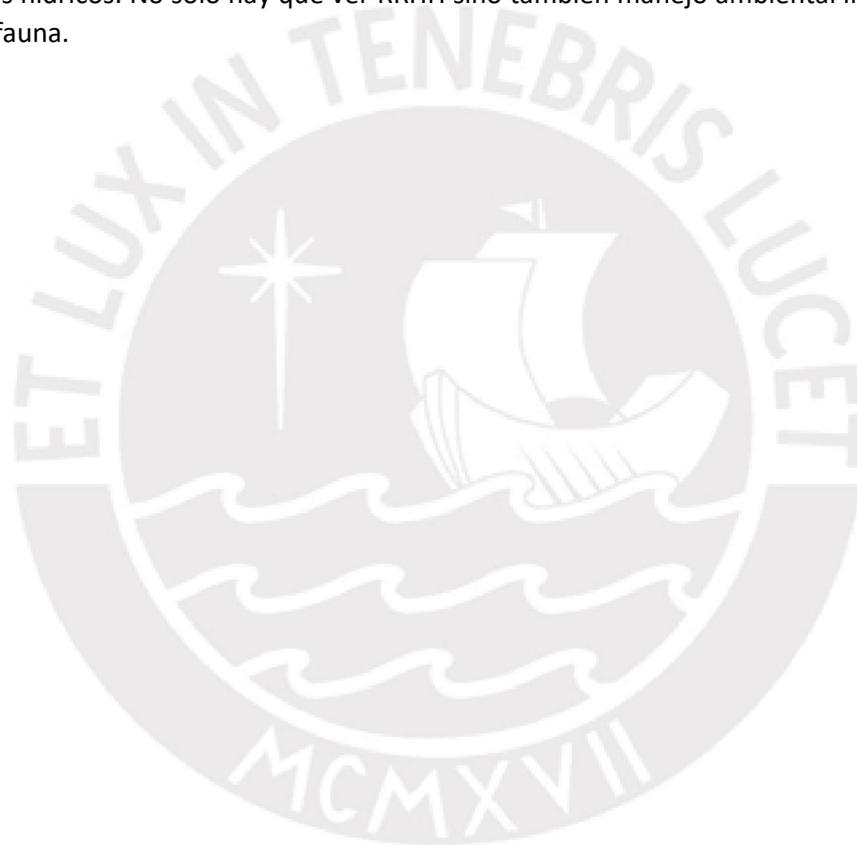
- Calidad de agua es uno de los grandes problemas. En el Santa hay contaminación minera tanto por explotación como desglaciación. También hay contaminación a nivel poblacional por vertimientos y en menor instancia por el uso de pesticidas y producción pecuaria.
- Se ha planteado desviar un curso de agua para descontaminarla y devolver el agua limpia.

4. CULTIVOS/DEMANDA DE AGUA

- En la venta de tierras en Intervalles se garantiza 10,000 m³/ha. Pero las empresas quieren que se les garantice más. El palto y caña tienen requerimientos mayores de agua por eso querían subir el mínimo garantizado.
- El agua del proyecto es complemento en los valles. El problema es que se acostumbran a usar solo del proyecto.
- Los volúmenes asignados son teóricos no hay estudios sobre los requerimientos de agua precisos en el áreas de influencia del PECH. Están tratando de hacer estudios, pero no tienen el apoyo de universidades.
- La falta de siembra en las áreas nuevas (Etapas I y II) es por la falta de agua. En Intervalles sembrar cuando hay la posibilidad de estiaje no es viable. Palo Redondo por sí solo no sería suficiente, da tiempo para mejorar la eficiencia y explotación de agua subterránea.

5. COMPETENCIAS Y CONFLICTOS DE AGUA

- Plan de contingencia, restringir los cultivos a nivel de valles viejos ya que tienen suelo formado, humedad, aguas subterráneas, cultivos permanentes y pueden adaptarse mejor al estiaje. Ese plan de contingencias se ha implementado en años muy secos.
- Se ha notado años que el caudal ha bajado menos de 40 m³ donde es crítico. Eso aumenta los conflictos con Chinecas.
- Cada región tiene una comisión ambiental regional, pero no hay un personal estable que ejecute. Se tiene que tener un mínimo personal técnico como corazón y se pueden buscar proyectos de financiamiento. Chavimochic no tiene que presidir, sino la ANA. Idealmente todo el ámbito de Chavimochic y Chinecas debería aportar para la gestión sostenible del agua. P.ej. cobrar unos céntimos por servicios de agua para llevar a cabo proyectos para optimizar el uso del agua.
- Debería haber un representante de ambos proyectos y formar un sistema de gestión de recursos hídricos. No solo hay que ver RRHH sino también manejo ambiental incluyendo la flora y fauna.



Anexo 7: Entrevista a JU

<i>Entrevista</i>	Nº 3	<i>Duración</i>	01:15	<i>Fecha</i>	28/02/18
<i>Lugar</i>	Junta de Usuarios				

1. RIEGO

- Las tierras de Intervalles se venden con un derecho de agua de 10,000 m³/ha. En Intervalles se hacen grandes reservorios con geo-membranas, almacenan la dotación de agua y de poco van regando. En sistemas de riego presurizado se riega mucho porque tienen agua.
- El agua del río Santa es complementaria, la original es la del Moche. Antiguamente para regar era de la propia cuenta. Antiguamente habían quebras: llevaban 80 personas para cerrar tomas para que baje el agua.
- El Santa elimina ese trabajo y está amarrado al agua que trae el canal madre. El agua del Santa es para la parte baja, la parte media con filtraciones y la parte alta con agua del río moche. Con Chavimochic el agricultor se olvidó del agua subterránea. En Santa Lucía de Moche es solo con agua de filtraciones del río moche. En la parte media y alta el agua es estacional de 4 meses
- Ellos manejan dos tarifas:
 - Río Moche: 0.019671277 soles/m³
 - Santa: 0.036226959 soles/m³
- La tarifa de agua del Santa es mayor porque el agua es regulada, recorre 152 km y en ese kilometraje tiene personales. El costo es el servicio, mantenimiento y operaciones.
- No se hace una distribución volumétrica, sino por hora. Se maneja con módulos de 80 litros por segundo. Lo justo sería enseñarles a regar en función a lo que el cultivo necesita. En muchos casos el agricultor contrata un regador que no le importa y se desperdicia mucha agua.
- Se usa el riego por gravedad y se inunda los cultivos, hay un desperdicio del agua. Se debe trabajar en la concientización/sensibilización para minimizar el desperdicio de agua. Los agricultores tienen una concepción de que contra más agua le dan al cultivo, mejor.
- Se tiene la gran desventaja que el 70% de los agricultores (de aprox 6,000) son personas mayores y no les interesa la capacitación. Un gran porcentaje son arrendatarios y no les interesa la capacitación.
- Se busca una tecnificación en el riego, pero es muy costoso. El Estado a través de instituciones apoya pero bajo la idea de asociación, por lo menos 20 ha juntas. Pero el agricultor le gusta trabajar solos, no se cumplen con los requisitos. La idea es mejorar el riego de los pequeños agricultores y conectarlos con el mercado para la venta.
- En el 2001 proyecto subsectorial de irrigación Banco Mundial y japonés, ellos les daban asistencia técnica hasta lograr que la agricultura sea sostenible. El problema es que el apoyo no se da para usuarios con menos de 3 ha de terrenos (la mayoría en el valle). Ha habido asesoramiento también de israelitas. Laredo riega por surcos, pero han contratado especialistas para que el consumo de agua baje.

2. OFERTA DE AGUA

- Palo Redondo: Niño costero ha llenado palo redondo que está lleno de lodo, en abandono, se está malogrando la obra y el gobierno no está viendo eso. No hay un técnico puro, se ha metido mucho la política.
- Palo redondo debería ser para mantener las tierras nuevas actuales Etapa I y II. Se debería de explotar el agua subterránea, pero no se hace, cada vez está subiendo más el agua subterránea. Se deberían de consolidar primero las tierras de las Etapas I y II.
- Ha habido ya cambios en las avenidas, antes comenzaba en diciembre y en lo últimos años ha llegado hasta en enero.
- Llevan sembrado solo el 50% del total de Chavimochic Etapas I y II. Palo redondo es una solución para el problema de desglaciación porque ya les falta agua.
- Palo Redondo es para almacenar el agua y para regar tierras nuevas + 30, 000 ha de caña de azúcar (Etapa III) que es como arroz que consume 22,000 m³/ha. Le parece mal el uso de Palo Redondo para Tierras Nuevas Etapa III, más aun de caña con elevado requerimiento hídrico.

3. CULTIVOS/DEMANDA DE AGUA

- La distribución del agua la hacen de acuerdo a lo que los agricultores solicitan. En las épocas de calor la evapotranspiración es mucho mayor y los cultivos requieren más agua. En invierno la humedad y el rocío mantienen el agua
- La distribución es semanal, los agricultores hacen intención de siembra, se declara lo que van a sembrar. Es muy importante para ellos el consolidado de intenciones de siembra para hacer un balance hídrico, con los módulos de riego de los cultivos. El módulo de riego sigue vigente según la ANA, se mantienen los valores.
- El calentamiento global se está dando y se va a seguir dando. La demanda de agua va a ser mayor y el caudal va a ser menor. Se habla sobre el retroceso glaciar en la Cordillera Blanca.

Anexo 8: Entrevista a empresa agroindustrial

<i>Entrevista</i>	Nº 1	<i>Duración</i>	00:49	<i>Fecha</i>	27/12/17
<i>Empresa</i>	Empresa Agroindustrial				

1. HISTORIA DEL FUNDO

- Se cuenta con un total de 3,500 ha, pero solo 2,000 de estas se encuentran sembradas. También parte de sus hectáreas están usadas por la zona industrial y por caminos.
- Se resalta el hecho de que lo que hace años no era considerado como zonas cultivables (tierras eriazas) ahora son fácilmente cultivables. “Con un tractor se aplana la duna fácilmente”

2. CULTIVOS

- Se siembra espárragos y palta hass (mil ha para cada cultivo), de vez en cuando se siembra pimiento piquillo.
- Se solía sembrar alcachofa, pero ahora se concentran en esos dos cultivos. Tienen agricultores asociados que siembran alcachofa en la zona de influencia del PECH
- Se ha considerado también la siembra de arándanos.
- Rotación del campo, después de un tiempo se tiene que matar el espárrago, entonces en las áreas no cultivadas se siembra espárragos y en donde estaban los espárragos se siembra palta.
- Se ha considerado la compra de nuevas tierras de cultivo en la Etapa III. Menciona que si bien el proyecto se encuentre truncado, en el área circundante siempre hay comercio de tierras.

3. RIEGO

- El riego que utilizan es por goteo, cuentan con estaciones para calcular el agua que requieren los cultivos.
- Se identifica una pérdida de agua debido al suelo arenoso y, en el caso de otras empresas, por la falta de mantenimiento de las mangueras.
- Se utiliza agua del canal madre y de los laterales para los fundos más alejados.
- Oficialmente se les otorga 10,000 m³ de agua por hectárea, pero ellos no cuentan con ningún solo cultivo con una demanda hídrica menor a esa.

4. OFERTA DE AGUA

- A lo largo del desarrollo de la empresa no han contado con deficiencias en la oferta hídrica.
- No hay necesariamente una preocupación por la disponibilidad de agua futura. No hay una visión futura.
- Bajo escenarios futuros de baja oferta hídrica se tendrá que perforar pozos y el costo por el agua será mayor y la calidad de ésta menor.
- Existe la posibilidad de utilizar agua de pozos (con los que cuentan de backup), pero el agua tiene una alta conductividad y no ideal para el desarrollo agrícola, especialmente la palta.
- Se reconoce la variable cambio climático, pero no es considerada en el desarrollo del proyecto. El proyecto les ha asegurado agua y consideran que va a haber suficiente porque el PECH cuenta con excedentes.

- Se considera a Palo Redondo como una medida acertada visto que permitirá utilizar el agua que se “pierde” para poder abastecer al proyecto y aprovechar el agua que ha costado extraer del río Santa.

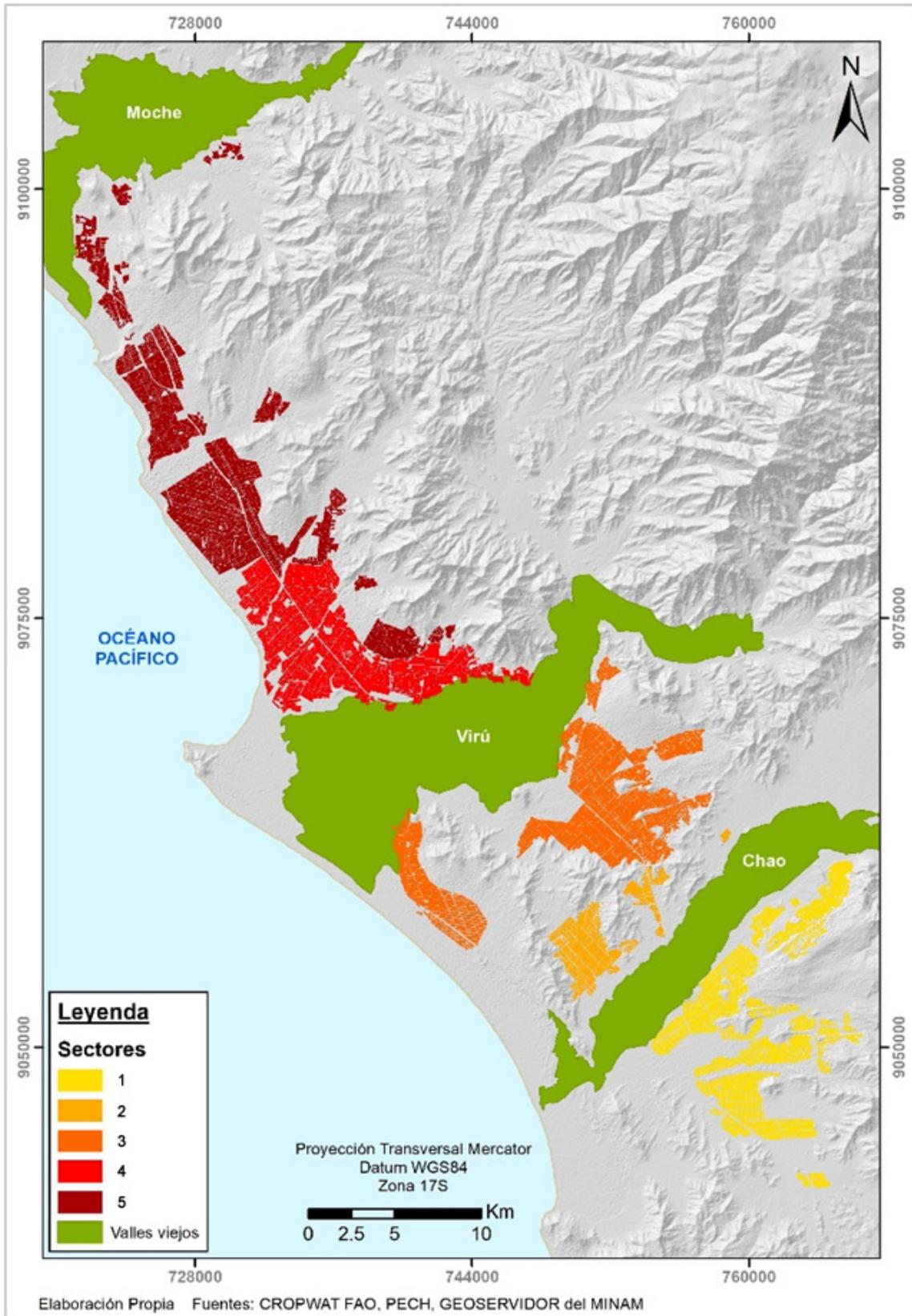
5. CULTIVOS/DEMANDA DE AGUA

- Los cultivos que tiene son “sedientos” demandan mucha agua. Estos son en un 99.9% destinados al mercado exterior (EE.UU, UK, China). Exportan productos en tres formatos: frescos, congelados y en conserva. Han perfeccionado la exportación con contenedores con regulación atmosférica.
- Si bien se reconoce la problemática hídrica, no se ha pensado en la siembra de cultivos alternativos con bajo consumo de agua. Los cultivos que tiene son altamente rentables en el mercado internacional.
- No cuentan con apoyo técnico del PECH y éste no les ha propuesto alternativas de cultivos resistentes a climas áridos.
- Se han medido temperaturas mínimas y se han identificado anomalías.
- En otras empresas los espárrago han llegado a consumir hasta 15,000 m³/ha
- Se resalta que el agua es muy barata, que no existe una conciencia por el valor del agua. El agua es un recurso con valor tan bajo, que no se cuida como se debería. Cuando el precio del agua suba es cuando las personas van a tomar medidas para incrementar la eficiencia en su uso y desperdiciar menos. P.ej. maneras más eficientes de lavar las mangueras de riego o de eliminar sedimentos.
- La eficiencia del riego se puede mejorar, pero no sabe que tanto se puede mejorar. P.ej. hay gente que habla de poner hidrómetros para medir capacidad de campo (puede ser una inversión grande que no sabe qué tanto mejora). Al final del día el cultivo toma el agua que necesita.
- Antes de llegar al campo hay puntos donde se pierde el agua.
- En la empresa hay un desperdicio importante de agua en las plantas industriales. En muchos casos dependen la “cultura” de los trabajadores que no utilizan boquillas en los pomos entre otras medidas.
- La empresa está buscando aumentar la eficiencia en el uso del agua a nivel de plantas industriales, más no a nivel del riego.

6. COMPETENCIAS Y CONFLICTOS DE AGUA

- No se identifican competencias por el acceso al agua del río Santa ni entre las mismas empresas agroindustriales ni con los agricultores de los valles viejos.
- Sí ha habido problemas por el uso excesivo de agua y la salinización en los valles viejos.
- Se identifica la problemática del retroceso glaciario y sus impactos en la disponibilidad hídrica y cómo el uso del agua por el PECH está impactando y podría impactar más a los pequeños agricultores en las cuencas bajas.
- Se identifica un conflicto por la disponibilidad del agua entre el PECH y CHINECAS. Pero ve complicada la situación de CHINECAS. Mafias organizadas de tráfico de terrenos.

Anexo 9: Distribución espacial de Sectores del PECH

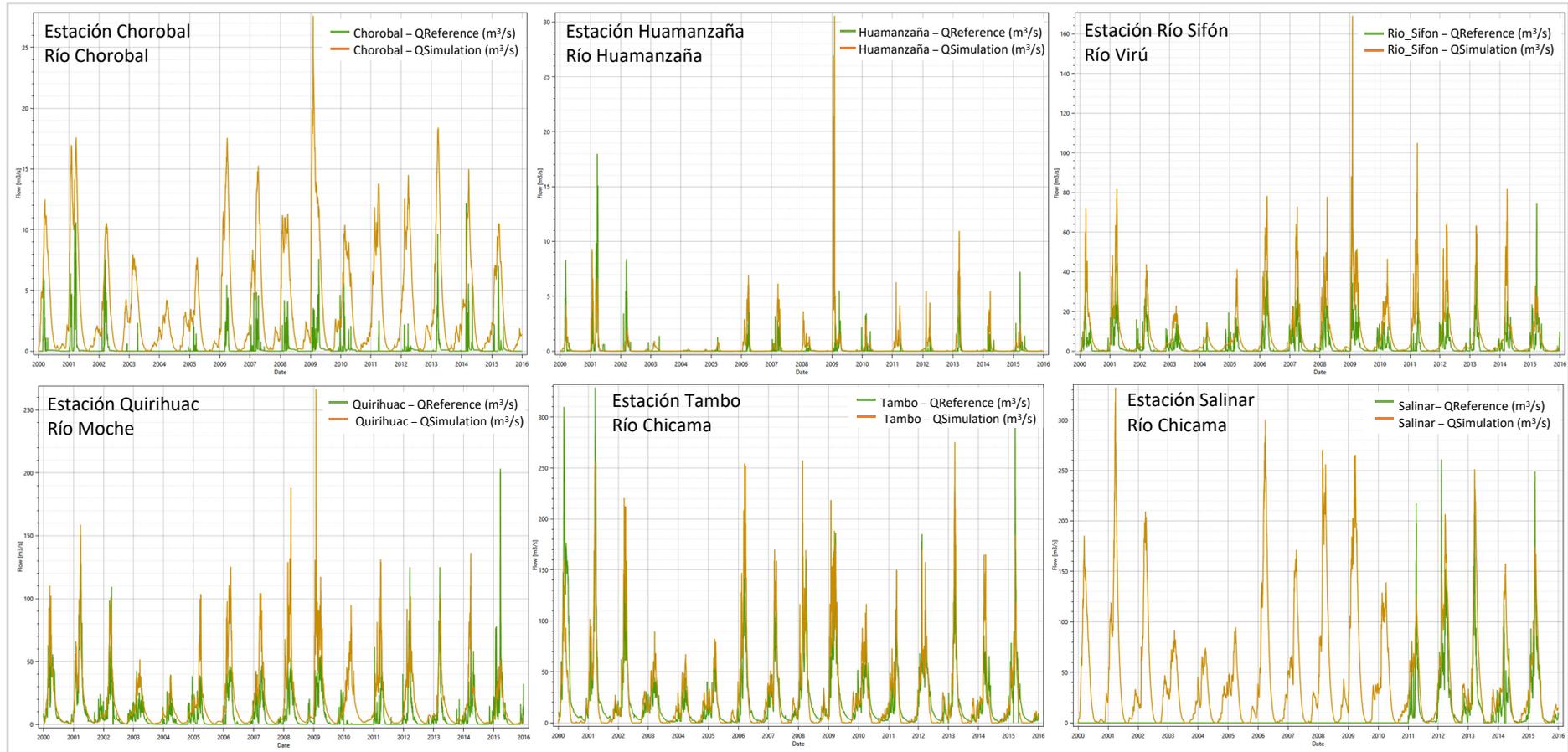


Anexo 10: Listado de cultivos de los valles viejos, intenciones de siembra 2015/2016

Cultivos								
Hortalizas Pequeñas	Leguminosas	Cereales	Frutas	Hortalizas - Solanáceas	Hortalizas - Cucurbitáceas	Tubérculos	Hortalizas Perennes	Forraje
Acelga	Arveja	Arroz	Arándano	Ají	Caigua	Betarraga	Alcachofa	Alfalfa
Ajo	Frejol de Palo Grano Seco	Chía	Ciruelo	Ají Escabeche	Calabaza	Camote	Espárrago	
Apio	Frejol Grano Seco	Maiz Amarillo Duro	Fresa	Ají Guajillo	Pepino	Camote Forrajero		
Brocoli	Frejol Grano Seco Castilla	Maiz Cala	Maracuyá	Ají Panca	Pepinillo	Papa		
Col	Frejol Vainita	Maiz Choclo	Palto	Berenjena	Sandía	Yuca		
Cebolla	Garbanzo	Maiz Morado	Papaya	Páprika	Zapallo			
Cebolla China	Maní	Quinoa	Plátano	Pimiento				
Col China	Pallar	Sorgo	Vid	Tomate				
Coliflor	Tara	Sorgo Forrajero						
Culantro	Zarandaja							
Espinaca								
Huacatay								
Lechuga								
Poro								
Nabo								
Rábano								
Zanahoria								

Fuente: Portal Agrario La Libertad, 2017.

Anexo 11: Caudales medios diarios observados y simulados calibración (2000-2008) y validación (2009-2015)



Nota: las series en color verde son los caudales observados y en anaranjado los simulados