

EN LA SOMBRA DEL CAMBIO GLOBAL: HACIA UNA GESTIÓN INTEGRADA
Y ADAPTATIVA DE RECURSOS HÍDRICOS EN LOS ANDES DEL PERÚ

*Fabian Drenkhan**

Departamento de Geografía, Universidad de Zurich, Suiza
fabian.drenkhan@geo.uzh.ch

Departamento de Humanidades, Pontificia Universidad Católica del Perú

Fecha de envío: 4 de noviembre de 2015

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2016

RESUMEN

En los Andes tropicales del Perú y en regiones adyacentes aguas abajo, la subsistencia humana está expuesta a fuertes cambios tanto en los patrones hidroclimáticos como en los socioeconómicos. Por un lado, los impactos del cambio climático son particularmente visibles a través del retroceso glaciar y crecimiento de lagunas glaciares. Conforme se va reduciendo la masa de hielo en cuencas altamente glaciadas, el caudal de río probablemente decrecerá y su variabilidad aumentará. Por otro lado, la creciente demanda de energía promueve la extensión de centrales hidroeléctricas y por ende una mayor necesidad de contar con un caudal mínimo predecible durante todo el año. Además, la expansión de la agricultura de riego y el crecimiento poblacional generan nuevas presiones en las cuencas. La situación antagonista de una oferta de agua sucesivamente menor y demanda de agua creciente pone en riesgo la futura disponibilidad de agua.

Este estudio analiza la situación actual de la oferta y demanda de agua en las cuencas de los ríos Santa (Áncash, La Libertad) y Vilcanota (Cusco). Se contextualiza el balance hídrico en ambas cuencas en el marco de la gestión integrada de recursos hídricos y la nueva Ley de Recursos Hídricos. Múltiples conflictos por el agua que prevalecen en el Perú hacen visible la necesidad de una gobernanza de recursos hídricos orientada a una gestión más participativa, segura y sostenible. Los procesos hidroclimáticos y socioeconómicos que se entrelazan de forma compleja y generan un alto grado de incertidumbre en los Andes del Perú, se podrían abordar a través de una gestión adaptativa del agua en el futuro.

Palabras clave: Andes tropicales, gobernanza del agua, conflictos hídricos, manejo adaptativo del agua.

* Geógrafo (M.Sc.) por la Universidad de Stuttgart, Alemania. Actualmente cursa estudios de PhD en la Universidad de Zurich, Suiza y enseña en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

In the shadow of global change: towards integrated and adaptive water resources management in the Andes of Peru

ABSTRACT

In the Tropical Andes of Peru and adjacent lowlands, human livelihoods are exposed to strong changes in hydroclimatic and socioeconomic patterns. On the one hand, climate change impacts are particularly visible by means of glacier retreat and growth of glacier lakes. With decreasing ice masses in highly glacierized catchments, river discharge probably diminishes and its streamflow variability increases. On the other hand, growing energy demand promotes extensions of hydropower plants and thus a major need to rely on a predictable minimum discharge during the whole year. Additionally, the expansion of irrigated agriculture and population growth exert new pressures in the catchments. The antagonistic situation of successively depleting water supply and growing water demand put at future water availability risk.

This study analyzes the current state of water supply in the Santa (Ancash, La Libertad) and Vilcanota (Cusco) river catchments. The water balance in both catchments is embedded in the framework of Integrated Water Resources Management and the new Water Resources Law. Multiple water conflicts which prevail in Peru, make the need of water resources management visible with pathways towards more participative, secure and sustainable water management. Intertwined and complex hydroclimatic and socioeconomic processes with high uncertainty in the Andes of Peru could be tackled with Adaptive Water Management in the future.

Keywords: Tropical Andes, water governance, water conflicts, Adaptive Water Management.

1. INTRODUCCIÓN

Los Andes tropicales se elevan meridionalmente como barrera orográfica y dividen el país en una región occidental desértica influenciada por las aguas frías y ricas en nutrientes del Pacífico y una región oriental húmeda densamente poblada por bosques tropicales de lluvia. Es por ello que esta región de alta montaña genera contrastes ambientales extremos al tener numerosos pisos altitudinales con condiciones (micro) climáticas diversas que conllevan adaptaciones específicas y un alto endemismo de flora y fauna, localmente en amenaza de extinción por los impactos humanos. Por lo tanto, los Andes tropicales representan la mayor región clave en biodiversidad a nivel mundial (Myers, Mittmeier, Mittmeier, da Fonseca y Kent, 2000). Los pueblos de la cultura quechua y aimara, mantienen tradiciones ancestrales y se ubican en sitios remotos y a menudo socioeconómicamente menos favorecidos, en contraste con las ciudades grandes de la costa del Pacífico, río abajo, donde los niveles de inversión y de consumo experimentan un incremento significativo.

Después de Guyana, Surinam y Belice, el Perú presenta la mayor disponibilidad hídrica renovable per cápita en América Latina, contando con $62,7 \times 10^9$ m³/cápita/año (FAO, 2012). Sin embargo, en el país prevalece una fuerte disparidad espacial y

temporal en la oferta de agua potable natural. El 66% de la población peruana (total: ~30 millones de habitantes) vive en la costa árida de la cuenca del Pacífico y dispone de solamente 1,8% del total nacional de los recursos hídricos internos renovables (~1700 x 10⁹ m³) lo cual corresponde a 2085 m³/cápita/año (ANA, 2012) (Tabla 1). El 95% de la población peruana depende de agua proveniente de zonas altoandinas, suministrada por las precipitaciones y la descarga sucesiva perenne de glaciares y lagunas (Ministerio del Ambiente [Minam], 2010).

El siguiente estudio presentará una revisión integrada del estado de los recursos hídricos en los Andes tropicales y demostrará en mayor detalle los cambios actuales en el balance hídrico (oferta y demanda de agua) y respectivos desafíos e implicancias para las cuencas de los ríos Santa (Áncash/La Libertad) y Vilcanota (Cusco), en los Andes del Perú (Fig. 1).

Tabla 1. Balance y disponibilidad de los recursos hídricos por principales cuencas hidrográficas en el Perú

Cuenca	Población		Área		Oferta (superficial y subterráneo)		Demanda (uso consuntivo)		Disponibilidad hídrica
<i>Unidad</i>	<i>10³ cap.</i>	%	<i>km²</i>	%	<i>10⁶ m³</i>	%	<i>10⁶ m³</i>	%	<i>m³/cap./año</i>
Pacífico	18 620	65,9	278,482	21,7	38 821	2,2	16 501	86,9	2 085
Atlántico	8 681	30,8	957,823	74,5	1 719 814	97,2	2 367	12,5	198 121
Titicaca	920	3,3	48,911	3,8	9 877	0,6	104	0,6	10 735
TOTAL	28 221	100	1 285 216	100	1 768 512	100	18 972	100	62 667

Fuente: ANA, 2012; INEI, 2013.

Principales factores hidroclimáticos y sus tendencias en los Andes tropicales

Los Andes tropicales del Perú se caracterizan por temperaturas anuales casi constantes pero por una marcada estacionalidad hídrica dividida en una época húmeda (octubre-abril) y época de estiaje (mayo-septiembre). Debido a esto, así como también a la compleja combinación de topografía, altitud, y como la influencia de las corrientes de Humboldt y El Niño y la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés), los Andes tropicales adoptan múltiples pisos (micro)climáticos con alta biodiversidad que brindan diversos servicios ecosistémicos.

A pesar de esta complejidad bioclimática y la carencia de datos hidroclimáticos *in situ*, se observan fuertes evidencias de consecuencias del cambio climático en varias regiones andinas. El balance de energía en la baja tropósfera determina la temperatura superficial terrestre la cual controla directamente la fusión de nieve y hielo, la ablación

del glaciar, y el estado sólido-líquido de la precipitación, procesos que influyen en la acumulación de nieve y hielo. Vuille, Franquist, Garreaud, Lavado Casimiro y Cáceres (2015) observaron a lo largo de las cordilleras de los Andes entre 2°N y 18°S una tendencia de calentamiento atmosférico de 0,13 °C/década entre 1950 y 2010. Esta tendencia general es aún más pronunciada en áreas tropicales de mayor altitud posiblemente relacionado al mayor contenido de energía disponible de la condensación de vapor de agua. Mediante el escenario SRES A2 (escenario de mayor nivel de emisiones) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), Bradley, Vuille, Diaz y Vergara (2006) proyectan un posible aumento de la temperatura superficial entre 4,5 y 5 °C en los Andes tropicales hasta el año 2100 con respecto a la década de 1990-1999 lo cual también ha sido confirmado en el 5to. Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014). Sin embargo, Vuille *et al.* (2015) indican, que la tasa de aumento de la temperatura superficial se ha desacelerado en las últimas tres décadas lo cual sería consistente con observaciones globales de una pausa del calentamiento a finales de la década de 1990 (IPCC, 2013; Otto *et al.*, 2013).

La población de las zonas altoandinas del Perú está expuesta a una fuerte variabilidad climática y estacionalidad la cual determina que más del 80% de toda la precipitación anual ocurre entre los meses de octubre y mayo (Mark, Bury, McKenzie, French y Baraer, 2010). Esta división hídrica anual es determinante para el clima altoandino y para el balance de masa glaciar, considerando que la precipitación en estado líquido (lluvia) y sólido (nieve) controla directamente el balance de energía superficial mediante el albedo y la fracción de radiación solar reflejada. Adicionalmente, la formación y densidad de la cobertura de nubes influye en este balance de energía. En los trópicos exteriores, la precipitación constituye el factor determinante para el balance de masa glaciar (Rabatel *et al.*, 2013). Las observaciones de los patrones de la precipitación son menos unívocos que en el caso de la temperatura superficial. Vuille *et al.* (2003) observaron en 42 estaciones distribuidas entre 1°N y 23°S a lo largo de las cordilleras de los Andes un ligero incremento al norte de 11°S y una posible disminución hacia el sur entre 1950 y 1994. Estos resultados coinciden con la tendencia observada de una humidificación en los trópicos interiores y desecación de los Andes subtropicales, posiblemente relacionada a una mayor actividad de la circulación atmosférica tropical (IPCC, 2014). En un estudio reciente, Neukom *et al.* (2015) confirman la tendencia de desecación en los Andes centrales (10-20°S) entre 1965 y 2010 y proyectan una posible disminución de precipitación relativa a condiciones actuales entre 19% y 33% hasta 2100 (IPCC RCP8.5, escenario de mayor nivel de concentración de emisiones atmosféricas) con fuertes implicancias para la subsistencia humana en esta región semiárida.

Retroceso glaciar

Como torres virtuales de agua, los glaciares han sido una fuente hídrica determinante para la subsistencia de las sociedades andinas aguas arriba y poblaciones costeñas aguas abajo. Sin embargo, el retroceso glaciar aún acelerado desde la década de 1970 implica nuevos riesgos hídricos. Entre 1970 y 2010, el área de los glaciares tropicales del Perú se ha reducido de 2042 a 1171 km² lo cual corresponde a una pérdida de área glaciar promedio de 43%, porcentaje que está sujeto a variaciones significativas a nivel local (ANA, 2014a). Rabatel *et al.* (2013) resumen que los glaciares pequeños con una elevación máxima baja (<5400 msnm) de los Andes tropicales, muestran tasas elevadas de derretimiento de hielo. Las mediciones nacionales coinciden con otras observaciones regionales, como en el caso de la cordillera Real de Bolivia, la cual muestra una reducción del área glaciar de 48% (de 324 a 168 km²) entre 1975 y 2006 (Soruco *et al.*, 2009) o el caso de los nevados Antizana y Cotopaxi en Ecuador cuya área glaciar disminuyó 33% y 37%, respectivamente, entre 1979 y 2007 (Cáceres, 2010).

Cambios en la demanda hídrica: demografía y economía

El crecimiento poblacional del Perú sigue siendo positivo a pesar de haber disminuido significativamente de 2,6%/año en la década de 1970 a 1,1%/año en la actualidad (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2008; INEI, 2014). El Perú está atravesando un fuerte crecimiento económico: el producto bruto interno (PBI) nacional se duplicó en la última década con un PBI promedio de 6,1% entre 2004 y 2014 incluyendo los años de recesión 2009 (1,0%) y 2014 (2,4%) (Banco Central de Reserva del Perú [BCRP], 2014; Ministerio de Energía y Minas [Minem], 2015). Estas cifras socioeconómicas reflejan cambios significativos en el estilo de vida de una parte de la población e implican un aumento en el consumo de varios recursos. Consecuentemente, la demanda energética nacional ha incrementado en 6,2%/año en promedio durante el periodo 2004-2014 (Minem, 2015). Tal desarrollo conlleva serios desafíos en relación a la compensación por nuevas fuentes de energía y a la concientización de la población en la gestión de los recursos naturales.

El papel de las hidroeléctricas en el marco de la creciente demanda de energía

En el año 2014, el 37% (3,6 GW) de toda la energía instalada a nivel nacional (9,7 GW) proviene del sector hidroeléctrico cuya proporción en el mercado de la producción de energía eléctrica corresponde a 48% (21 586 GWh) (Minem, 2015). La creciente demanda energética nacional requiere una mayor oferta la cual está principalmente compensada por gas natural, fuente de energía no renovable. Este desarrollo compite con planes paralelos de expansión de la energía renovable hidráulica, incorporando turbinas de mayor rendimiento y formulando proyectos de nuevas centrales hidroeléctricas (véase Cap. 3.3).

Por otro lado, una mayor producción de energía de origen hidroeléctrico es también más atractiva porque los proyectos relacionados califican como mecanismos de desarrollo limpio (MDL) según el compromiso de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) asumido en el marco del Protocolo de Kioto (Ministerio del Ambiente [Minam], 2010). Sin embargo, nuevos proyectos de hidroeléctricas que implican el represamiento de ríos y lagunas y cambios en características geomorfológicas y biohidrológicas en cuencas hidrográficas, generan un fuerte potencial de conflictos sociales.

Cambios en la demanda hídrica: producción agrícola

La agricultura contribuye en un 7,5% al PBI pero constituye el sector laboral más importante para el 65% de la población rural y el 23% de la población total del Perú (Minam, 2010). Cada vez mayor superficie de suelo es convertida en área agrícola, contando con un aumento del área de cosecha en un 83% (total: 3,24 millones ha) en la última década (INEI, 2013). Desde la década de 1990, varias zonas de la cuenca árida del Pacífico han generado una mayor demanda hídrica debido al aumento de la producción agrícola para la exportación de cultivos de riego intenso como por ejemplo espárrago, arroz y alcachofas (Carey *et al.*, 2014). El 86% de todo el consumo hídrico actual se atribuye exclusivamente al sector agrícola (ANA, 2012), consumo que no es gestionado de manera eficaz. Se estima que el 65% de esta agua se desaprovecha debido a deficiencias en la extracción, el uso inadecuado de técnicas de riego y su contaminación antrópica y natural (Minam, 2010).

Implicancias del cambio de la oferta y demanda hídrica

El desarrollo en los sectores de mayor consumo de agua y su creciente demanda hídrica anteriormente descritos, contrasta fuertemente con las observaciones y proyecciones de la oferta hídrica en varias regiones del país. Aún sin considerar posibles cambios en los patrones de precipitación y evapotranspiración, las cuencas altamente glaciadas presentarán alteraciones significativas a largo plazo. El retroceso de los glaciares ocasionará que la escorrentía de los ríos alcance el punto de inflexión crítico, el «pico de agua» (*peak water*), a partir del cual dicha escorrentía previamente incrementada, a consecuencia de una mayor fusión de hielo, decrecerá y se nivelará hasta alcanzar un nuevo caudal mínimo aún no determinado. Considerando el tipo del clima prevalente en los Andes tropicales, tal desarrollo posiblemente implicará dos cambios notables en la disponibilidad de los recursos hídricos, particularmente en las áreas aguas arriba: un menor caudal total anual, aún más reducido en la época de estiaje, y una mayor variabilidad de escorrentía semejante a la ocurrencia y magnitud de precipitaciones locales. Estudios recientes se concentran en la cuantificación de estos cambios y en la determinación del *peak water* aún no determinado para la mayoría de las cuencas glaciadas en el Perú (Baraer *et al.*, 2012; Bury *et al.*, 2013; Chevallier, Pouyaud, Suarez y Condom, 2011) (véase también Cap. 2.3).

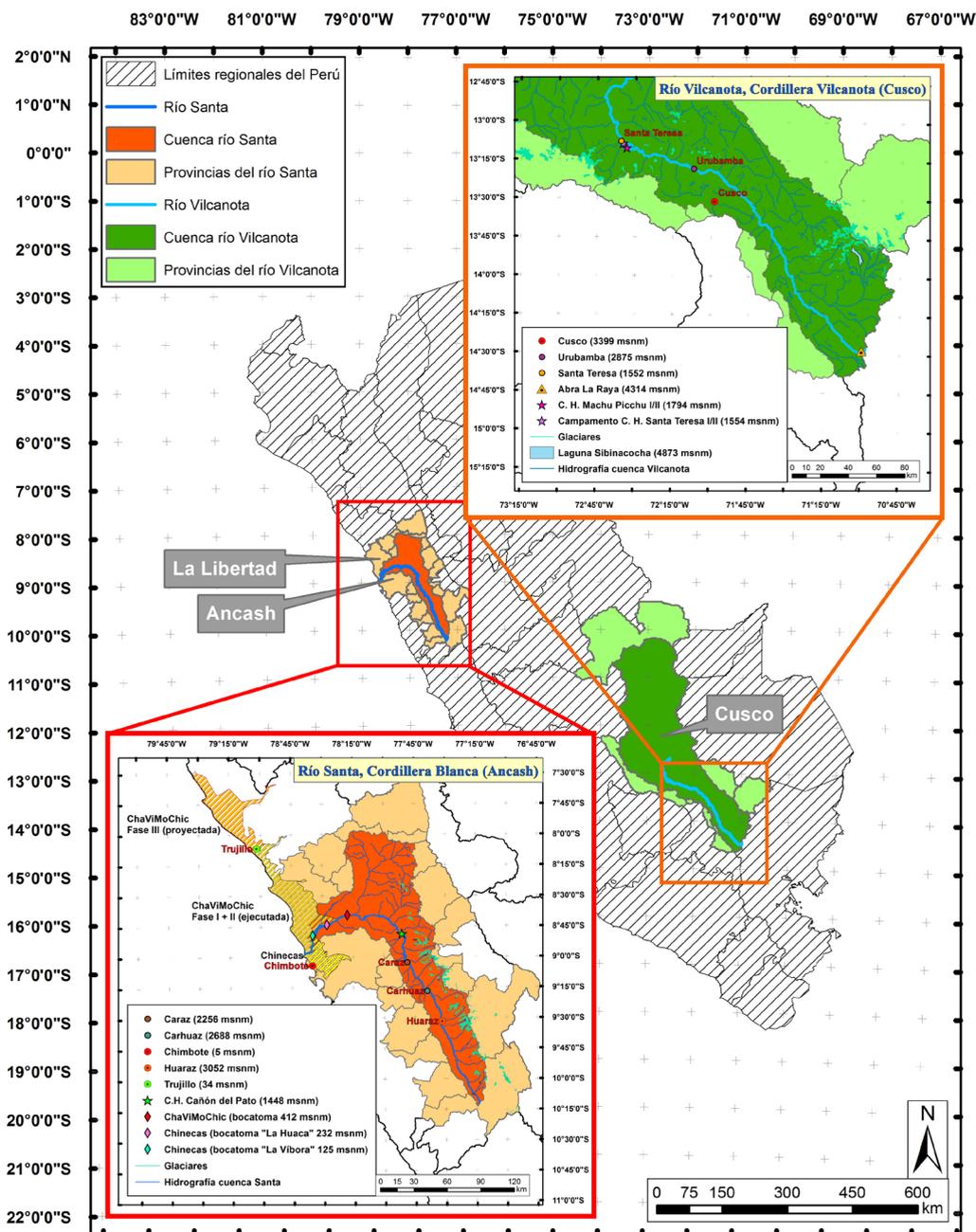


Figura 1. Visión general con las cuencas del río Santa (marco de color rojo) y río Vilcanota (marco de color naranja) con los principales puntos de interés en el presente estudio.

Una menor oferta hídrica cada vez más variable constituye un alto riesgo para la agricultura y producción hidroeléctrica, la economía y la paz social del Perú. Consecuentemente, la continua descarga hídrica de glaciares y lagunas altoandinas representa un suministro vital de agua como regulador que mitiga la vulnerabilidad humana frente a la variabilidad hidroclimática. A pesar de esfuerzos en el represamiento de lagunas y ríos altoandinos, en la actualidad existen pocas estrategias integradas de adaptación que aseguren una suficiente cobertura energética renovable, no-conflictiva que sustituya parcialmente la energía fósil (véase Cap. 4).

2. CAMBIOS EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA (CORDILLERA BLANCA, ÁNCASH)

El río Santa nace en el glaciar Tuco (5468 msnm) que drena a la laguna Conococha (10°07'40"S, 77°16'54"O; 4050 msnm) ubicada en el extremo sur del valle conocido como Callejón de Huaylas, Áncash. A lo largo de este valle, el río discurre de dirección noroeste entre la cordillera Negra en el margen oeste y la cordillera Blanca en el margen este más de 180 km de distancia antes de descender atravesando la cordillera Occidental, en dirección oeste, por un tramo de más de 100 km, hasta desembocar en el océano Pacífico. A la vez, constituye el segundo río más largo del Perú que desemboca en el Pacífico, abarcando una cuenca total de 11 600 km².

Los estudios glaciológicos son ya una tradición en la cordillera Blanca. El punto de partida para las primeras investigaciones fue la visita científica realizada por el geógrafo italiano Antonio Raimondi en 1860. El estudio glaciológico moderno empieza con las exploraciones desarrolladas por el Club Alpino Austro-alemán dirigidas por el geógrafo Hans Kinzl a partir del año 1932. Estas investigaciones han dejado archivos muy válidos incluyendo las primeras fotografías del estado de los glaciares en las décadas de 1930-1950 (Ames y Francou, 1995).

En la región existen datos climáticos continuos a partir de la década de 1960, provenientes de unas 25 estaciones meteorológicas ubicadas por encima de los 4000 msnm. Existen largos vacíos de datos, principalmente entre las décadas de 1970 y 1990, debido a la inestable situación política y socioeconómica, caracterizada por el conflicto interno en el Perú.

2.1. Situación y tendencias climáticas

El clima en la cordillera Blanca es típico de los trópicos exteriores en zonas de alta montaña, presentando una época húmeda (octubre-abril) y una época seca (mayo-septiembre), con un total anual de precipitación entre 700 y 1000 mm/año.

Los eventos interanuales de la Oscilación Sur El Niño (ENSO, por su sigla en inglés), definidos por anomalías en la presión atmosférica y en la temperatura

superficial del mar (SST, por su sigla en inglés), influyen en el balance de masa glaciar. Mediante el análisis de series de datos en cinco subcuencas glaciadas de la cordillera Blanca entre 1953 y 1993, Vuille, Kaser y Juen (2008) encontraron una alta correlación entre el índice Niño-3.4 y el cambio de balance de masa glaciar que fue reconstruido de datos meteorológicos. Alteraciones en los patrones de la circulación atmosférica en combinación con una SST elevada favorecen un estado de menor transporte de humedad durante El Niño en la sierra. Consecuentemente, aire más seco prevalece en la sierra y esta situación influye a menudo a un balance negativo de la masa glaciar. El glaciar pierde entonces más hielo en la zona inferior (ablación) que el que adquiere en la zona superior (acumulación). Durante La Niña se desarrolla una situación opuesta: mientras que la SST promedio disminuye, más humedad está disponible y el balance de masa queda equilibrado o puede llegar a ser positivo (acumulación \geq ablación). En este caso las lenguas glaciares pueden avanzar temporalmente. Los impactos de ENSO en los glaciares no están comprobados para todas las cordilleras en el Perú y generalmente son difíciles de discriminar unívocamente sobre todo en combinación con otros fenómenos como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por su sigla en inglés).

2.2. Evolución glaciar

La cordillera Blanca concentra el 41% de la superficie glaciar en el Perú, siendo por lo tanto el mayor fragmento glaciar del país (total = 1171 km²) y representa aproximadamente 20% de la superficie glaciar tropical a nivel global (total < 2500 km²). Entre 1970 y 2014, esta área glaciar ha disminuido en 33% (= 0,75%/año) a 484 km² de su superficie glaciar original de 723 km² (Casassa *et al.*, 2007; ANA, 2014b; Yap, 2015).

El mayor deshielo promueve el desarrollo y la formación de (nuevas) lagunas glaciares que implican oportunidades (por ejemplo aprovechamiento de energía hídrica) pero a la misma vez amenazas y riesgos en particular para las poblaciones aguas abajo. Un estudio actual ha determinado 17 nuevas lagunas glaciares con un área \geq 4500 m² entre 2004 y 2014 de un total de 812 lagunas en la cordillera Blanca (Yap, 2015). Desde la década de 1940, se han ejecutado numerosos embalses y canales para controlar el espejo de agua de estas lagunas, con el objeto de prevenir inundaciones por desembalses de lagunas glaciares (GLOF, por su sigla en inglés) y regular la descarga hídrica aguas abajo. Estas obras reducen el riesgo de desastres en dichas áreas pero han generado paralelamente conflictos entre el Estado, las empresas privadas y las comunidades locales en relación con la gobernanza de los recursos hídricos (Carey, French y Brien, 2012), véase Cap. 2.3.

2.3. Oferta y demanda hídrica

Similarmente a las tasas promedias nacionales, las regiones Áncash y La Libertad, abastecidas por las aguas del río Santa, indican un crecimiento poblacional anual promedio de 0,8% y 1,7% entre 1993 y 2007. El gradiente ciudad-provincia es bastante marcado: mientras que las zonas rurales (36% y 25% de la población de Áncash y La Libertad) muestran una despoblación anual de 0,5% y 0,0%, respectivamente, las zonas urbanas (64% y 75%) crecen notablemente en 1,6% y 2,4% al año. Las ciudades grandes experimentan un aumento poblacional anual notable, como Huaraz (2,9%) en la sierra y las zonas urbanas costeñas de Trujillo (2,2%), Virú (5,8%) y Chimbote (1,2%), todas abastecidas por aguas desviadas del río Santa en el marco de los grandes proyectos ChaViMoChic y Chinescas (INEI, 2008, 2009b, 2009c, Fig. 1).

Cañón del Pato – posibles impases en el suministro de energía

La central hidroeléctrica (CH) Cañón del Pato de Huallanca (08°48'47"S, 77°51'09"O; 1448 msnm, Fig. 1) en el Alto Santa tiene una capacidad actual de 263 MW lo cual corresponde a la mitad de la capacidad total instalada en Áncash y el 10% de la capacidad energética nacional. A plena capacidad, esta central hidroeléctrica requiere de un caudal de agua de 72 m³/s que no logra de modo natural durante la época de estiaje, cuando la descarga del río Santa desciende a unos 25-40 m³/s. A fin de garantizar un rendimiento energético constante durante todo el año, el operador de la CH Cañón del Pato, Duke Energy, construyó los reservorios San Diego I y II y represó las lagunas Rajucolta, Cullicocha, Aguascocha y Parón. La última de estas lagunas cuenta con compuertas que permiten regular la escorrentía del río equilibrando el caudal en épocas de baja descarga. Esta obra hidráulica ha provocado involuntariamente un conflicto emblemático entre el operador Duke Energy y la comunidad campesina Cruz de Mayo en relación a la gobernanza de los recursos hídricos. Los pobladores acusan a Duke Energy de enfocarse exclusivamente en el rendimiento de la central hidroeléctrica al controlar el caudal del río sin tomar en cuenta una escorrentía adecuada para la agricultura local, provocando daños de erosión fluvial en las parcelas de la quebrada de Parón (Carey *et al.*, 2014). La CH Cañón del Pato también ha sido sujeto de una evaluación económica en el marco de los impactos del cambio climático. Vergara *et al.* (2007) llegan a la conclusión de que una reducción de la descarga hídrica glaciar en 50% resultaría en una disminución del rendimiento energético en 18% (de 1540 a 1250 GWh). Una contribución nula a la descarga del río debido al derretimiento glaciar total, llevaría todavía a un descenso aún menor de energía equivalente al 37% (a 970 GWh). Los costos resultantes del retroceso glaciar en este caso estarían llegando a varios millones de USD según cada escenario (Tabla 2).

Tabla 2. Escenarios del impacto del retroceso glaciar en la economía de la región del Cañón del Pato (CdP) y a nivel nacional

Escenario	50% reducción descarga glaciar		100% reducción descarga glaciar	
	CdP	Nacional	CdP	Nacional
Costos (Mio. USD /año)				
Costos al por mayor (neto instantáneo)	5.7	60	11.5	120
Costos de racionamiento forzado (a largo plazo)	71.5	748	144	1,503

Fuente: Vergara *et al.* (2007).

Primeras evidencias del cruce de peak water

Los escenarios hidroeconómicos descritos anteriormente, adquieren aún más relevancia con evidencias actuales acerca del posible cambio de la escorrentía en el río Santa a largo plazo. Baraer *et al.* (2012) revelan que siete de nueve subcuencas ya indican haber cruzado el *peak water*. Este acontecimiento histórico llevaría a un descenso mayor al 60% en la descarga de la época de estiaje y de 10% a nivel anual. Otros estudios en las subcuencas de Yanamarey y Querococha sustentan los patrones generales de una reducción del caudal y aumento de variabilidad de la descarga (Mark *et al.*, 2010; Bury *et al.*, 2011).

Sin embargo quedan muchas incertidumbres. En las últimas décadas, la agricultura se ha expandido con un mayor crecimiento en áreas bajo riego permanente en varias partes de la cuenca (Drenkhan, Carey, Huggel, Seidel y Oré, 2015). Un desafío aún grande es la cuantificación de agua subterránea y almacenada en los bofedales (humedales altoandinos). Mediante el análisis del grado de fracción de los isótopos estables del agua, Baraer *et al.* (2009) indican que el agua subterránea es un mayor contribuyente a la escorrentía en la época de estiaje llegando a ser por lo menos tan importante como el agua del deshielo. Por otro lado, unos primeros análisis en la subcuenca Quilcayhuanca, muestran una cierta degradación y fragmentación de los bofedales posiblemente en relación a un menor flujo de agua de deshielo (Bury *et al.*, 2013) lo cual debe ser comprobado con más datos en otras (sub)cuencas a largo plazo. En conclusión, un análisis más profundo de los impactos del deshielo en el caudal de río y posible cruce de peak water requiere considerar múltiples cambios en la cuenca, con énfasis en los grandes sectores de uso de agua, tales como la agricultura e industria.

ChaViMoChic y Chinecas – ¿proyectos en acuerdo con la futura oferta hídrica?

La agricultura representa el sector laboral más importante en Áncash y La Libertad, regiones impactadas por los grandes proyectos de irrigación agraria ChaViMoChic y Chinecas (Fig. 1). Cerca de una tercera parte (29,7%) de la población económicamente activa (PEA) en Áncash y una cuarta parte (24,6%) en La Libertad están involucradas en la producción agrícola (INEI, 2009b; INEI, 2009c). Mientras que en la cuenca alta del río Santa predomina el cultivo bajo riego tradicional y de secano, los métodos de irrigación de la cuenca baja en la costa árida han cambiado drásticamente. Principalmente desde la década de 1990, áreas extensas originalmente no cultivadas han sido parceladas y fertilizadas haciendo uso de riego tecnificado. Los dos proyectos emblemáticos ChaViMoChic y Chinecas promueven cultivos de alto valor y riego intenso para el mercado internacional: espárrago, arroz, uva y caña, entre otros (Mark *et al.*, 2010; Bury *et al.*, 2011; Carey *et al.*, 2014).

ChaViMoChic es un proyecto creado en la década de 1960 que une las cuencas de los ríos Chao, Virú, Moche y Chicama a través de canales de riego, desviando hacia el norte las aguas del río Santa alrededor de 70 km antes de su desembocadura en el océano Pacífico. Hasta la actualidad, este proyecto abarca 74 000 ha de nuevas áreas y parcelas mejoradas y brinda aproximadamente 40 000 puestos de trabajo (Gobierno Regional La Libertad [Gorell], 2012). La 'Fase III' de ChaViMoChic (Fig. 1) proyecta conectar Trujillo con Chicama con un canal de longitud total de 267 km desde la bocatoma del Santa (08°39'34"S, 78°17'44"O; 412 msnm) con una capacidad total de caudal de 105 m³/s (Carey *et al.*, 2013). Para garantizar el suministro de las áreas agrícolas (Fase I-III) durante todo el año, desde 2014 se está construyendo el reservorio Palo Redondo (capacidad proyectada: 366 millones m³) en esta área. El proyecto Chinecas se encuentra en implementación desde la década de 1980 con el fin de abastecer unas 33 000 ha de cultivos desviando hacia el sur un total de 47 m³/s desde dos bocatomas en el río Santa (La Huaca: 08°44'19"S, 78°27'39"O; 232 msnm; La Víbora: 08°49'32"S, 78°34'72"O; 125 msnm), beneficiando a 600 000 habitantes de los alrededores de Chimbote (Chinecas, 2014; Bury *et al.*, 2013). Un expediente técnico elaborado por el Consorcio Internacional Chinecas servirá para la implementación de más obras hidráulicas, como la ampliación del canal principal, la represa Cascajal y la construcción de una tercera bocatoma en el sector de Tablones Alto. En este contexto surgieron nuevos conflictos entre diferentes actores, por ejemplo los tomadores de decisión (Gobierno Regional, Consorcio Chinecas, etc.) y algunos agricultores, quienes temen un abastecimiento hídrico insuficiente para sus parcelas. Desde hace años persiste la disputa por la gobernanza y distribución de los recursos hídricos del río Santa entre los proyectos ChaViMoChic que representan la región de La Libertad y Chinecas, que representa a su turno la región de Áncash (Palpa, 2013).

El máximo rendimiento en ambos proyectos de irrigación requeriría el trasvase total de unos 150 m³/s hacia el norte y sur del río Santa. Sin embargo, naturalmente este caudal no está disponible en la época de estiaje, lo cual hace necesario contar con una amplia red de lagunas, canales y represas en la cuenca, que a largo plazo podría provocar conflictos en relación con la gobernanza de los reservorios de agua. En la estación hidrométrica Puente Carretera, situada a pocos kilómetros de la desembocadura del Santa al Pacífico, a unos 55 km río abajo de la bocatoma de ChaviMoChic, el caudal mínimo promedio en la época de estiaje de los años 1969-1999 (49 m³/s) ha disminuido en 90% (a 5 m³/s) en el año 2012 (Carey *et al.*, 2014). No existen mayores estudios de largo plazo para corroborar estas primeras evidencias que podrían generar una seria preocupación por el uso sostenible, la disponibilidad futura y posibles disputas por los recursos hídricos en la cuenca y áreas adicionales de riego dependientes del río Santa.

3. CAMBIOS EN LA CUENCA DEL RÍO VILCANOTA (CORDILLERA VILCANOTA, CUSCO)

El río Vilcanota nace en el nevado Cunuruna (14°26'44"S, 70°57'47"O; 5443 msnm), del puerto de montaña Abra La Raya, al límite entre las regiones de Cusco y Puno, en la localidad también llamada «nudo de Vilcanota», el cual representa el punto límite entre los Andes tropicales y el Altiplano. Desde este punto, el río Vilcanota atraviesa la cordillera Oriental en dirección noroeste antes de convertirse en el río Urubamba a 207 km río abajo y 30 km noroeste de Cusco. A lo largo del transcurso cambia su denominación a Ucayali y finalmente, luego de la confluencia con el río Marañón, a Amazonas antes de desembocar en el océano Atlántico. Este estudio se centra exclusivamente en el tramo del Vilcanota y Alto Urubamba (~17 000 km²), aquí integrados en el término «río Vilcanota».

El área del río Vilcanota ha sido objeto de pocas investigaciones sistemáticas. Los estudios más destacados son los realizados en la capa de hielo de Quelccaya por el grupo de estudios paleoclimáticos liderado por Lonnie Thompson de la Ohio State University. Este grupo inició dichos trabajos a fines de la década de 1970 (Thompson *et al.*, 1979). Otros esfuerzos de estudios glaciológicos fueron desarrollados por Morales y Hastenrath a fines de la década de 1990, con el objeto de estimar el área glaciar de la cordillera Vilcanota (Morales Arnao y Hastenrath, 1998).

En esta región existen mediciones climáticas continuas a partir de la década de 1960, provenientes de un total de alrededor de 30 estaciones meteorológicas, ubicadas a una altitud por encima de los 4000 msnm. De manera similar a la cordillera Blanca, las series de datos incluyen vacíos, principalmente entre las décadas de 1980 y 1990 (Salzmann *et al.*, 2013).

3.1. Situación y tendencias climáticas

El área del río Vilcanota se encuentra en una situación climáticamente compleja en el límite sur de la influencia directa de la ITCZ y compuesta por regímenes tropicales, subtropicales y extratropicales meridionalmente cambiantes según estación (Salzmann *et al.*, 2013). En pocas palabras, significa que la región está determinada por una típica estación húmeda corta entre diciembre y marzo y una estación seca prolongada por el resto del año con precipitaciones que oscilan entre 800 y 1000 mm/año.

Los impactos locales y teleconexiones de ENSO en la cordillera Vilcanota son poco estudiados. Las primeras investigaciones en esta región no sustentan las evidencias halladas por por ejemplo Vuille *et al.* (2008) para la cordillera Blanca. Salzmann *et al.* (2013) concluyen que la correlación de la temperatura superficial con los últimos grandes eventos de El Niño en 1982-1983 y 1997-1998 es débil o inexistente. Por lo contrario, Perry, Seimon y Kelly (2014) resaltan la posibilidad de anomalías positivas (negativas) de precipitaciones durante El Niño (La Niña), determinadas por un componente del flujo advectivo de humedad desde la Amazonía. Más estudios regionales con alta resolución temporal y espacial deberían comprobar estas evidencias y responder varias de las interrogantes en la investigación climática en la región.

3.2. Evolución glaciar

La cordillera Vilcanota concentra el 24% de la superficie glaciar del Perú, siendo por lo tanto el segundo fragmento glaciar más grande del país (total = 1171 km²) y representa un 11% de la superficie glaciar tropical a nivel global (total < 2500 km²). Entre 1970 y 2009, esta área glaciar ha disminuido en aproximadamente 33% (= 0,85%/año) a 279 km² de su superficie glaciar original de 418 km² (Casassa *et al.*, 2007; ANA, 2014c; ANA, 2014d). Salzmann *et al.* (2013) resaltan un retroceso glaciar similar y acelerado a partir de la década de 1980 en la cordillera Vilcanota.

Amenazas geomorfodinámicas relacionadas al derretimiento glaciar

En una investigación en la región recientemente publicada, Hanshaw y Bookhagen (2014) cuantificaron por primera vez el número de lagunas proglaciares y alimentadas por glaciares en el marco del derretimiento de hielo. Desde el año 1985 se identificaron dos lagunas recientemente formadas y un incremento acelerado del área de otras lagunas a partir de 2002. Para la adyacente cordillera Vilcabamba, Guardamino (2014) confirmó la formación de 37 nuevas lagunas y una tasa acelerada de aumento en número y área lagunar durante el periodo 1991-2014. Este crecimiento de lagunas preexistentes y formación de otras nuevas constituyen serios condicionantes para posibles futuras remociones de masa relacionadas al retroceso glaciar, acopladas con el desprendimiento de hielo, deslizamiento de laderas inestables y de material morrénico

recién descubierto de hielo. Eventos climáticos extremos en la región, como el caso de lluvias torrenciales, pueden iniciar y amplificar múltiples procesos de remoción de masa en cadena. Las cuencas de los ríos Sacsara y Aobamba son testigos de ello: en el año 1998 había cuatro eventos consecutivos de remoción de masa, incluyendo un evento de siglo el 27 de febrero de 1998, que destruyó la mayor parte del centro poblado Santa Teresa y de la central hidroeléctrica Machu Picchu (Carlotto, Cárdenas y Fidel, 2007, Tabla 3)

Tabla 3. Desastres naturales seleccionados en la cuenca del río Vilcanota relacionados a los impactos del derretimiento glaciar y eventos de precipitación extrema

Fecha	Origen y transcurso	Proceso	Daños (incompleto)
12.07.1996	Nevado Salcantay Quebrada Orcospampa Aobamba Laguna Sisaypampa	Desprendimiento glaciar Avenida repentina por Desbordamiento de laguna glaciar (GLOF) de la laguna Sisaypampa	5 muertos Varias viviendas, también en Yanatle y Santa Teresa
13.01.1998	Nevado Sacsara	Aluvión de material morrénico por intensas precipitaciones	Santa Teresa arrasada en 90% 573 viviendas
27.02.1998	Nevado Salcantay Quebrada Rayancancha Río Aobamba	Deslizamiento Represamiento río Urubamba (+70 m)	Santa Teresa arrasada por completo 3 muertos CH Machu Picchu destruida 306 viviendas
12.03.1998	Nevado Salcantay Quebrada Rayancancha Río Aobamba	Aluvión Represamiento río Urubamba (+3 m)	Daño de 100 millones USD; destrucción parcial ferrocarril Machu Picchu – Quillabamba
22.11.1998	Nevado Salcantay Quebrada Orcospampa Laguna Sisaypampa Río Aobamba	GLOF por desprendimiento glaciar	--
12.10.2005	Nevado Verónica Quebrada Runtumayo	Desprendimiento glaciar Alud-aluvión (avalancha y consecutiva remoción de masa de hielo-rocas- sedimentos)	Destrucción parcial ferrocarril Ollantaytambo – Machu Picchu
17.10.2010	Nevado Chicón Laguna Riticocha	Desprendimiento glaciar GLOF de la laguna Riticocha	50 viviendas destruidas en Urubamba

Fuente: compilado según Carlotto *et al.*, 2007; Indeci, 1998.

3.3. Oferta y demanda hídrica

La región Cusco presenta un crecimiento poblacional anual positivo promedio de 0,9% entre 1993 y 2007. La diferencia de gradiente entre la ciudad y la provincia es bastante marcada: mientras que las zonas rurales (55% de la población) muestran una despoblación anual de 0,4%, zonas urbanas (45%) crecen notablemente en 2,2% al año. La ciudad de Cusco, abastecida en mayor parte por el río Vilcanota, experimenta un aumento poblacional anual actual de 2,2% (INEI, 2008; INEI, 2009a).

Santa Teresa II – ¿Un proyecto hidroeléctrico sobredimensionado para la futura oferta hídrica?

Las (futuras) centrales hidroeléctricas Machu Picchu I/II (13°10'37"S, 72°33'78"O; 1794 msnm) y Santa Teresa I/II (13°08'34"S, 72°35'06"O; 1554 msnm, *Fig. 1 y Tab. 4*), ubicadas en el río Vilcanota cerca al poblado de Santa Teresa, desempeñan un importante papel económico y político en la región de Cusco.

Actualmente, el proyecto Santa Teresa II es escenario de una mayor disputa. Una concesión temporal para el estudio previo de factibilidad de esta central hidroeléctrica, otorgada por el Gobierno el 25.05.2013 a la empresa privada Luz del Sur, originó gran resistencia en la población. El planeamiento de un túnel de 14 km de longitud que serviría como trasvase principal de las aguas del río Vilcanota para la nueva planta, generó el temor de que miles de pobladores y los baños termales de Cocalmayo en la zona agrícola y turística de Santa Teresa sufriesen carestía de agua. Paralelamente, la empresa privada Andean Hydro ejerce una fuerte competencia por la concesión, sobre la base de su concepto alternativo y descentralizado compuesto por seis minicentrales. Mientras que Andean Hydro resalta el alto impacto negativo socioambiental de Santa Teresa II, Luz del Sur le reprocha el fingir un concepto descentralizado ineficaz únicamente para evitar el costoso estudio de impacto ambiental (*La República*, 2013).

El contexto en el que se enmarca este conflicto es la distribución desigual de recursos hídricos a lo largo del año, determinada tanto por causas antrópicas (por ejemplo asignación de agua) como naturales. Mientras que entre enero y marzo el río Vilcanota tiene un caudal frecuentemente mayor a 250 m³/s, el caudal suele disminuir a menos de 40 m³/s entre junio y septiembre. Luz del Sur ya demandó al Estado por no poder garantizar un caudal mínimo de 61 m³/s, según fue asegurado en el contrato establecido entre ambas partes (*El Comercio*, 2013). En este contexto y frente al probable descenso de la escorrentía del río Vilcanota en partes de la cuenca altamente glaciada (véase Cap. 2.3), es difícilmente concebible que el máximo rendimiento hidroeléctrico proyectado para 2020, con un caudal de diseño de 105 m³/s, sea alcanzado durante todo el año sin recurrir a nuevos reservorios o bajar el nivel de producción de energía por varios meses durante la época seca.

Tabla 4. Mayores centrales hidroeléctricas en operación y proyección del río Vilcanota en la región de Santa Teresa

Central hidroeléctrica	Turbinas	Capacidad total (MW)	Caudal requerido (m ³ /s)	Estado	Operador
Santa Teresa I	Francis (2 de 49 MW)	98	61	En operación (desde 08/2015)	Luz del Sur
Santa Teresa II	Francis (2 de 137 MW)	268	105	En disputa, operación prevista en 2020	Luz del Sur
Machu Picchu I	Pelton (3 de 30 MW)	90	31	En operación (desde 07/2001)	Egamsa
Machu Picchu II	Francis (1 de 101 MW)	101	31	En operación (desde 08/2015)	Egamsa

Fuente: Osinergmin, 2014; Egamsa, 2015.

El reservorio represado más importante hasta ahora constituye la laguna Sibinacocha, (13°51'10"S, 71°01'32"W; 4873 msnm; Figura 1) ubicada en el borde sur del nevado Chumpe. Este reservorio contiene un volumen máximo de 110 millones m³ y, en la época de estiaje, permite liberar agua con un caudal máximo de 12 m³/s del cual solo un 60% llegaría a las hidroeléctricas río abajo, debido a otros consumidores conectados, por ejemplo agricultores. También en la cuenca del Vilcanota, la gestión y el control sobre los recursos hídricos siguen siendo altamente conflictivos. Planes iniciales de represamiento de otras lagunas en la cuenca alta del Vilcanota por el operador Egamsa han sido rechazados por la población local. Actualmente, nuevos proyectos de embalses en otros puntos estratégicos de la cuenca están en evaluación.

4. HACIA UNA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS EN EL PERÚ

4.1. Problemas multidimensionales requieren soluciones transdisciplinarias

La comprensión y el abordaje adecuado de los desafíos de oferta y demanda de agua anteriormente descritos implican buscar nuevas trayectorias de gestión del agua a múltiples escalas uniendo los intereses de actores dentro de y entre cuencas y límites político-administrativos. Tradicionalmente, el campo académico de la oferta hídrica está repartido entre científicos naturales e ingenieros mientras que en el estudio de la demanda hídrica se involucran principalmente científicos sociales y humanistas. Por el contrario, los procesos y sus implicancias anteriormente descritos provienen de múltiples amplitudes y disciplinas. Un análisis unidimensional dentro de los límites naturales

de la disciplina, no incluirá adecuadamente la totalidad de los parámetros necesarios para concebir y comprender un sistema de la complejidad antes descrita. Por lo tanto, problemas multidimensionales requieren soluciones integrales e interdisciplinarias (asegurando el intercambio entre disciplinas) o transdisciplinarias (adicionalmente incorporando diferentes actores) (Bury *et al.*, 2013; Carey *et al.*, 2014; Drenkhan *et al.*, 2015; Vogel *et al.*, 2015).

4.2. Gestión integrada de recursos hídricos y seguridad hídrica en el Perú

El concepto internacionalmente más reconocido y actualmente promovido como uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas es la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), definido por el Global Water Partnership (GWP) 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 (GWP, 2000).

Procura implementar una gestión de agua integrada bajo principios de equidad social, eficiencia económica y sostenibilidad ecológica incorporando a múltiples actores en todos los niveles. El Estado peruano está regulando y promoviendo la GIRH mediante la Ley de Recursos Hídricos (LRH) 29338 que entró en vigor en 2009, mediante la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Esta ley es el resultado de largos debates en las últimas dos décadas y también la respuesta a conflictos entre los múltiples usuarios y tomadores de decisión sobre la gobernanza y gestión sostenible de agua (Oré y Rap, 2009; Drenkhan *et al.*, 2015). A la vez, define el recurso hídrico como patrimonio de la nación, reconoce y respeta el derecho imprescriptible al uso del agua en las tierras de comunidades campesinas y nativas (artículo 32, 64). Una parte fundamental es la gestión de agua en un nuevo marco institucional descentralizado mediante las Autoridades Administrativas y Locales del Agua (AAA y ALA, respectivamente) y participativo mediante los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CRHC). Hasta la actualidad, seis CRHC han sido creados como pilotos en el país con apoyo del Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y se encuentran únicamente distribuidos en la cuenca del Pacífico (ANA, 2015a). A inicios de 2016, el séptimo CRHC fue confirmado en la AAA del Vilcanota-Urubamba lo cual representa el primer CRHC impulsado sin financiación de cooperación internacional.

Por otro lado, Perú forma parte de la Estrategia Andina para la GIRH aprobada en 2011 la cual pretende promover una «nueva cultura del agua». Esta procura incentivar una mayor conciencia ambiental y coordinar cooperaciones solidarias conjuntas y transfronterizas del recurso hídrico a nivel subregional de los países miembros en la

Comunidad Andina (CAN). Estos objetivos han sido aprobados dentro de la nueva Agenda Ambiental Andina 2012-2016 (CAN, 2012a; CAN, 2012b). Asimismo, sucesivamente surgen conceptos alternativos o complementarios a la GIRH. Por ejemplo, la seguridad hídrica (SH) podría representar un concepto complementario a la GIRH (Bakker y Morinville 2013). Sobre la base de Grey y Sadoff (2007) se define SH como «un nivel aceptable de riesgos hídricos para seres humanos y ecosistemas, acoplado con la disponibilidad de agua de suficiente cantidad y calidad para abastecer subsistencias, seguridad nacional, salud humana y servicios ecosistémicos» (Bakker 2012).

No solamente la ausencia sino también la presencia del agua, en forma de remociones de masa e inundaciones o agua contaminada, pueden comprometer la SH (Grey y Sadoff, 2007). El término «seguridad» implica un estándar, por debajo de un umbral definido, el agua es considerada insegura. En ello, el concepto de SH difiere del proceso de GIRH que se enfoca en un compromiso entre equidad social, crecimiento económico e integridad ecológica. Desde el punto de vista de la SH, este compromiso no siempre es posible o deseable sino existe una necesidad innegociable de garantía por un nivel aceptable de riesgo hídrico y calidad de agua (Bakker y Morinville, 2013; Cook y Bakker, 2012). Tal concepto podría ser incorporado de forma complementaria a la GIRH, basada en una gobernanza participativa en futuras agendas ambientales del Perú y de la CAN. Eso incluiría garantizar objetivos mínimos concretos y formular estándares definidos por umbrales a fin de asegurar reducir la vulnerabilidad hídrica.

A pesar de estos esfuerzos y conceptos innovadores, la realidad de la práctica de GIRH en el Perú y en las cuencas de los ríos Santa y Vilcanota es todavía otra. Mientras que se está descentralizando la gestión del agua y otorgando más competencias a los gobiernos regionales/locales y municipalidades, varias deficiencias originadas antes de 2009 persisten en el manejo de las diferentes unidades estatales y dificultan el proceso de adecuación del concepto de GIRH a nivel nacional. Un exceso de regulaciones y múltiples competencias de autoridades que se solapan, llevan a la coexistencia de políticas de no-adaptación, adaptación técnica, adaptación centralizada y adaptación equitativa (Cook y Bakker, 2012; Lynch, 2012). Además, siguen algunas políticas anacrónicas de la promoción unilateral de proyectos extensos de cultivos de exportación intensivos en riego en la costa árida (Lynch, 2014) (por ejemplo ChaViMoChic, Chínecas) y la carencia de integración participativa de todos los usuarios aguas arriba y aguas abajo (por ejemplo en proyectos hídricos cuestionados, tales como Conga y la central hidroeléctrica Santa Teresa II).

Perú está en una crisis de gobernabilidad mientras que los conflictos por acceso (cantidad) y creciente contaminación (calidad) del agua aumentan en número e intensidad (Oré y Geng, 2014; Oré, Bayer, Chiong y Rendón, 2014). A mediados de 2015, el 75% de todos los conflictos activos en el Perú fueron conflictos socioambientales de los cuales 81% están directamente vinculados a la actividad minera (minerales e

hidrocarburos) y 7% a energía que suman 100 conflictos abiertos en todo el país (Defensoría del Pueblo, 2015). Aunque no existe una estadística oficial, es evidente que una gran parte de estos conflictos es directamente vinculada a deficiencias en la gestión de recursos hídricos. Desde la promulgación de la nueva LRH en 2009, no se ha logrado disminuir significativamente el número de estas disputas, las cuales están sucesivamente desafiando al Estado y su legitimidad. En este contexto, un paso importante representa la creación del Tribunal Nacional de Resolución de Controversias Hídricas (TNRHC) de la ANA como parte de la LRH en 2009 que se encuentra recientemente en operación desde comienzo de 2014. Representa la máxima autoridad encargada de conocer y resolver los recursos impugnatorios interpuestos contra los actos administrativos emitidos por los órganos desconcentrados (AAA/ALA) y direcciones de línea de la ANA a nivel nacional a fin de garantizar la gobernanza en materia de recursos hídricos. Hasta comienzo de 2015 había resuelto 591 recursos administrativos (ANA, 2015b). Sin embargo, el rol y los logros de la TNRHC en la atención y solución de conflictos de agua en el país a largo plazo se evidenciarán más claramente conforme va avanzando el tiempo.

4.3. Hacia una gestión adaptativa del agua (GAA)

En una región de estudio como los Andes tropicales que presenta procesos y cambios hidroclimáticos y socioeconómicos crecientemente complejos, escasez de datos y por ende incertidumbres acerca del desarrollo futuro de disponibilidad y necesidad de recursos hídricos, se requieren estrategias robustas de gestión sostenible del agua. En este contexto, un concepto emergente en los últimos años es la gestión adaptativa del agua (GAA), la cual está directamente vinculada a la capacidad adaptativa de múltiples actores de agua, tales como autoridades, expertos y usuarios del agua (Pahl-Wostl, 2007). El aumento de la capacidad adaptativa (CA) se da mediante el aprendizaje social (AS) al desarrollar iterativamente capacidades colectivas de gestión del agua de método ascendente entre todos los actores. Sin embargo, el potencial del AS y GAA es muchas veces limitado, entre otros, debido a estructuras gubernamentales todavía centralizadas y burocráticas, desigualdades sociales y conflictos, privatizaciones de servicios de agua y acceso limitado de información (Pahl-Wostl, 2009). La institucionalidad en el Perú muestra varias de estas características adversas al AS colectivo e incorporación de GAA lo cual probablemente limita oportunidades de un verdadero salto de gestión monocéntrica de «comando y control» hacia una gestión integrada y adaptativa de recursos hídricos (GI/ARH) en el futuro cercano. A nivel local existen algunos avances interesantes de gestión del agua participativa bajo principios de CA y AS, por ejemplo en el marco del proyecto «Lima Water» en las cuencas del Chillón, Rímac y Lurín. Sin embargo, también en estos casos persisten barreras, tales como la fragilidad institucional, baja aplicación de aprendizaje colectivo y relaciones de poder

marcadas (Miranda Sara y Baud, 2014; Filippi, Hordijk, Alegría y Rojas, 2014), las cuales dificultan una verdadera transformación de la gestión del agua parcialmente integrada hacia una GAA.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

A partir de la presente revisión, se ha demostrado los actuales y posibles futuros cambios de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Santa (cordillera Blanca, Áncash) y Vilcanota (cordillera Vilcanota, Cusco) dentro de los Andes tropicales del Perú. Por un lado, la oferta hídrica está cada vez más alterada por los impactos del cambio climático que se manifiestan de forma muy visible en las cuencas con un fuerte derretimiento glaciar lo cual trae serias consecuencias acerca de la cantidad y variabilidad del caudal de ríos. Por otro lado, la demanda hídrica está sujeta a cambios drásticos en el contexto del crecimiento poblacional y socioeconómico, una agricultura que se expande y cada vez más intensifica el consumo de agua (agroexportación) y mayores capacidades hidroeléctricas que buscan adecuar la creciente demanda energética.

Por lo tanto, el Perú y particularmente las zonas de alta montaña y costañas afrontan grandes desafíos con respecto a la actual y futura disponibilidad y la gestión de agua frente a un balance hídrico alterado en numerosas cuencas. En este contexto, una GIRH o aun GI/ARH como proceso a largo plazo que incluya todos los actores y usuarios en diferentes niveles administrativos y geográficos, adquiere una mayor importancia. La nueva LRH representa un gran paso normativo en la transformación hacia una «nueva cultura del agua» de carácter descentralizado, participativo y sostenible pero va rezagada con respecto a su aplicación.

Frente al número significativo de conflictos socioambientales que tienen el potencial de perturbar la frágil paz social en el Perú, también el manejo de los recursos hídricos debe ser reexaminado y transformado hacia una gestión verdaderamente integrativa redistribuyendo funciones y poder. Para ello, la institucionalidad debe ser reforzada, por ejemplo mediante la formación inmediata de los CRHC y la supervisión e intervención del TNRHC representando los intereses de todos los actores en las diferentes cuencas.

Desde el punto de vista de la ciencia, la situación de datos hidroclimáticos y socioeconómicos in situ está desafiando el proceso de comprensión y proyección de procesos en la cuenca. La escasez de datos representa un fuerte limitante para la significancia e interpretación de resultados. Quedan muchas incertidumbres con respecto al sistema de suministro de agua, agua no facturada, la eficiencia de riego, el punto de cruce del «*peak wáter*», rol del agua subterránea, los impactos de ENSO y desarrollo socioeconómico e institucional en la región. Al tratar y cerrar estos vacíos de investigación, se lograría generar resultados más consistentes que realimentarán el proceso colectivo de AS que sucesivamente aumentará la CA y podría llevar hacia una GAA a largo plazo.

Agradecimientos

El autor agradece los valiosos comentarios de Christian Huggel, María Teresa Oré, Fernando Chiock y Boris Orłowsky, así como la detenida corrección del primer manuscrito por parte de Silvia Rosas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ames, A. y Francou, B. (1995). Cordillera Blanca: glaciares en la historia. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 24(1), 37-64.
- ANA (2012). *Recursos hídricos en el Perú*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (2014a). *Inventario Nacional de Glaciares (resumen)*. Huaraz, Perú: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (2014b). *Inventario Nacional de Glaciares de la Cordillera Blanca*. Huaraz, Perú: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (2014c). *Inventario Nacional de Glaciares de las Cordilleras Apolobamba, La Raya, Vilcabamba, Volcánica y Urubamba*. Huaraz, Perú: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (2014d). *Inventario Nacional de Glaciares de las Cordilleras Vilcanota y Carabaya*. Huaraz, Perú: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (2015a). *Modernización de la Gestión de Recursos Hídricos*. Disponible en <http://www.ana.gob.pe/pmgrh.aspx>.
- ANA (2015b). *Tribunal Nacional de Resolución de Controversias Hídricas*. Recuperado el 3 de noviembre de 2015 de <http://www.ana.gob.pe/tribunal-nacional-de-resolucion-de-controversias-hidricas.aspx>
- Bakker, K. (2012). Water Security: Research Challenges and Opportunities. *Science*, 337, 914-915. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1226337>
- Bakker, K. y Morinville, C. (2013). The governance dimensions of water security: A review. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 371, 1-18. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0116>
- Baraer, M., McKenzie, J.M., Mark, B.G. y Palmer, S. (2009). Characterizing contributions of glacier melt and groundwater during the dry season in a poorly gauged catchment of the Cordillera Blanca (Peru). *Advances in Geosciences*, 22, 41-49. <http://dx.doi.org/10.5194/adgeo-22-41-2009>.
- Baraer, M., Mark B.G., McKenzie, J.M., Condom, T., Bury, J., Huh, K., Portocarrero, C., Gomez, J. y Rathay, S. (2012). Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. *Journal of Glaciology*, 58(207), 134-150. <http://dx.doi.org/10.3189/2012JogG11J186>.
- BCRP (Banco Central de Reserva del Perú)(2014). Producto bruto interno 1951-2013. Available at: http://www.bcrp.gob.pe/docs/Estadisticas/Cuadros-Anuales/ACuadro_02.xls.

- 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.T., Mark, B.G., McKenzie, J.M. *et al.* (2011). Glacier recession and human vulnerability in the Yanamarey watershed of the Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change*, 105(1-2), 179-206. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-9870-1>
- Bury, J.T., Mark, B.G., Carey, M., Young, K.R., McKenzie, J., Baraer, M., ..., 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(2), 363-374. <http://dx.doi.org/10.1080/00045608.2013.754665>
- Cáceres, B. (2010). *Actualización del inventario de tres casquetes glaciares del Ecuador*. Tesis de maestría. Universidad de Niza Sophia Antipolis. Niza.
- CAN (2012a). *Agenda Ambiental Andina 2012-2016*. Lima: Comunidad Andina de Naciones.
- CAN (2012b). *Estrategia andina para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. Lima: Comunidad Andina de Naciones.
- Carey, M., French, A. y Brien, E.O. (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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhg.2011.12.002>.
- Carey, M., Baraer, M., Mark B.B., Franch A., Bury, J., Young, K. y McKenzie, J. (2014). Toward hydro-social modeling: Merging human variables and the social sciences with climate-glacier runoff models (Santa River, Peru). *Journal of Hydrology*, 518(A), 60-70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.006>
- Carlotto, V., Cárdenas, J. y Fidel, L. (2007). La geología en la conservación de Machupicchu. *Boletín Ingemmet, serie Patrimonio y Geoturismo*, 1.
- Casassa, G., Rivera, A., Haerberlib, W., Jones, G., Kaser, G., Ribstein, P. y Schneider, C. (2007). Current status of Andean glaciers. *Global and Planetary Change*, 59(1), 1-9.
- Chevallier, P., Pouyaud, B., Suarez, W. y Condom, T. (2011). Climate change threats to environment in the tropical Andes: glaciers and water resources. *Regional Environmental Change*, 11(1), 179-187. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-010-0177-6>
- Chinecas (2014). *Proyecto Especial Chinecas, Chimbote, Peru*. Disponible en http://www.pechinecas.gob.pe/website/index.php?option=com_content&view=article&id=71&Itemid=62.
- El Comercio (2013). Luz del Sur haría millonaria demanda al Estado por incumplir un contrato. Disponible en http://elcomercio.pe/economia/peru/luz-sur-haria-millonaria-demanda-al-estado-incumplir-contrato_1-noticia-1530169.

- Cook, C. y Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*, 22(1), 94-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011>
- Defensoría del Pueblo (2015). *Reporte de Conflictos Sociales*, 138. Lima.
- Drenkhan, F., Carey, M., Huggel, C., Seidel, J. y Oré, M.T. (2015). The changing water cycle: climatic and socioeconomic drivers of water-related changes in the Andes of Peru. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(6), 715-733. <http://doi.wiley.com/10.1002/wat2.1105>.
- EGEMSA (2015). *Central Hidroeléctrica Machupicchu*. Disponible en http://www.egemsa.com.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=124.
- FAO (2012). Base de datos AQUASTAT, América Latina. Disponible en <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es>.
- Filippi, M.E., Hordijk, M.A., Alegría, J.F. y Rojas, J.D. (2014). Knowledge integration: a step forward? Continuities and changes in Arequipa's water governance system. *Environment and Urbanization*, 26(1), 130-146. <http://dx.doi.org/10.1177/0956247814539233>
- Gorell (Gobierno Regional La Libertad) (2012). *Chavimochic en cifras 2000-2010*. Trujillo, Perú: Gorell.
- Grey, D. y Sadoff, C.W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545-571. <http://dx.doi.org/10.2166/wp.2007.021>
- Guardamino, L. (2014). *Análisis de la evolución de las lagunas de alta montaña en la Cordillera del Vilcabamba (Cusco y Apurímac) mediante métodos de sensoramiento remoto y SIG*. Tesis de Licenciatura. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- GWP (Global Water Management) (2000). *Integrated Water Resources Management*. Estocolmo, Suecia.
- Hanshaw, M.N. y Bookhagen, B. (2014). Glacial areas, lake areas, and snowlines from 1975 to 2012: status of the Cordillera Vilcanota, including the Quelccaya Ice Cap, northern central Andes, Peru. *The Cryosphere*, 8(2), 573-634. <http://dx.doi.org/10.5194/tcd-7-573-2013>
- Indeci (Instituto Nacional de Defensa Civil) (1998). Descripción de las principales emergencias producidas a nivel nacional durante el año 1998. Lima, Perú.
- INEI (2014). 11 de julio - Día mundial de la población. Lima, Perú.
- INEI (2009a). Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Perfil Sociodemográfico de la Región de Cusco (Cap. 01), Cusco, Perú.
- INEI (2008). Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Perfil Sociodemográfico del Perú. Lima, Perú.
- INEI (2009b). Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Perfil Sociodemográfico del Perú, Cusco, Perú.
- INEI (2013). *Compendio estadístico del Perú 2013*. Lima, Perú.

- INEI (2009c). *Perfil sociodemográfico del departamento de Áncash*. Lima, Perú.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. En T. F. Stocker *et al.* (Eds.), Cambridge, UK y New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. C. B. Field *et al.* (Eds.), Cambridge, UK y New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- La República (2013). Disputas por la ejecución de proyectos de generación hidroeléctrica en el Cusco. <http://www.larepublica.pe/29-07-2013/disputas-por-la-ejecucion-de-proyectos-de-generacion-hidroelectrica-en-el-cusco>.
- Lynch, B.D. (2014). Peru's water reform and its implications for power and equity in the Ica watershed. En M.T. Oré y G. Damonte (Eds.), *¿Escasez de agua? Retos para la gestión de la cuenca del río Ica* (pp. 1-20). Lima: Fondo Editorial PUCP.
- Lynch, B.D. (2012). Vulnerabilities, competition and rights in a context of climate change toward equitable water governance in Perú's Rio Santa Valley. *Global Environmental Change*, 22(2), 364-373. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.02.002> [Accessed December 30, 2014].
- Mark, B.G., Bury, J., McKenzie, J.M., French, A. y 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. <http://dx.doi.org/10.1080/00045608.2010.497369>
- Minam (Ministerio del Ambiente) (2010). El Perú y el cambio climático - Segunda Comunicación Nacional del Perú a la CMNUCC 2010, Lima, Perú.
- Minem (Ministerio de Energía y Minas) (2015). *Anuario ejecutivo de electricidad 2014*. Lima, Perú.
- Miranda Sara, L. y Baud, I. (2014). Knowledge-building in adaptation management: concertacion processes in transforming Lima water and climate change governance. *Environment and Urbanization*, 26(2), 505-524. <http://dx.doi.org/10.1177/0956247814539231>
- Morales Arnao, B. y Hastenrath, S. (1998). Glaciers of Peru. En R. S. Williams y J. G. Ferrigno (Eds.), *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World* (pp. 151-179). US Government Printing Office.
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, da Fonseca, G. y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(February), 853-858. <http://dx.doi.org/10.1038/35002501>
- Neukom, R., Rohrer, M., Calanca, P., Salzmann, N., Huggel, C., Acuña, D., Christie, D.A. y Morales, M.S. (2015). Facing unprecedented drying of the Central Andes?

- Precipitation variability over the period AD 1000–2100. *Environmental Research Letters*, 10(8), 1-13. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/084017>
- Oré, M.T., Bayer, D., Chiong, J. y Rendón, E. (2014). Emergencia hídrica y conflictos por el agua. En A. Guevara y A. Verona (Eds.), *El derecho frente a la crisis del agua en el Perú* (pp. 269-294). Lima: INTE-PUCP.
- Oré, M.T. y Geng, D. (2014). Políticas públicas del agua en las regiones: las viscosidades para la creación del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Ica-Huancavelica. En M.T. Oré y G. Damonte (Eds.), *¿Escasez de agua? Retos para la gestión de la cuenca del río Ica*. Lima, Peru: Fondo Editorial PUCP.
- Oré, M.T. y Rap, E. (2009). Políticas neoliberales de agua en el Perú: antecedentes y entretelones de la Ley de Recursos Hídricos. *Debates en Sociología*, 34, 32-66.
- Osinergmin (2014). Central Hidroeléctrica Santa Teresa, p. 1.
- Otto, A., Otto, F.E.L., Boucher, O., Church, J., Hegerl, G., Forster, P.M., ... Allen, M.R. (2013). Energy budget constraints on climate response. *Nature Geoscience*, 6(6), 415-416. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1836>
- Pahl-Wostl, C. (2009). A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*, 19(3), 354-365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001>
- Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Integrated Assessment of Water Resources and Global Change: A North-South Analysis*, 21, 49-62. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-5591-1_4
- Palpa, M. (2013). ANA resuelve darle más porcentaje de agua del río Santa a Chavimochic. <http://www.chimbotenlinea.com/chinecas/15/09/2013/ana-resuelve-darle-mas-porcentaje-de-agua-del-rio-santa-chavimochic>.
- Perry, L.B., Seimon, A. y Kelly, G.M. (2014). Precipitation delivery in the tropical high Andes of southern Peru: new findings and paleoclimatic implications. *International Journal of Climatology*, 34(1), 197-215. <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.3679> [Accessed December 12, 2014].
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Caceres, B., Ceballos, J.L., ..., Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, 7(1), 81-102. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-7-81-2013> [Accessed May 25, 2014].
- Salzmann, N., Huggel, C., Rohrer, M., Silverio, W., Mark, B.G., Burns, P. y Portocarrero, C. (2013). Glacier changes and climate trends derived from multiple sources in the data scarce Cordillera Vilcanota region, southern Peruvian Andes. *The Cryosphere*, 7(1), 103-118. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-7-103-2013> [Accessed May 25, 2014].
- Soruco, A., Vincent, C., Francou, B. y Gonzalez, F. (2009). Glacier decline between 1963 and 2006 in the Cordillera Real, Bolivia. *Geophysical Research Letters*, 36(3), L03502. <http://doi.wiley.com/10.1029/2008GL036238>.

- Thompson, L.G., Hastenrath, S. y Morales Arnao, B. (1979). Climatic ice core records from the tropical Quelccaya Ice Cap. *Science*, 203(4386), 1240-1243. <http://dx.doi.org/10.1126/science.203.4386.1240>
- Vergara, W., Deeb, A., Valencia, A., Bradley, R., Francou, B., Zarzar, A., Grünwaldt, A. y Haeussling, S. (2007). Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 88(25), 261-264. <http://doi.wiley.com/10.1029/2007EO250001>
- Vogel, R.M., Lall, U., Cai, X., Rajagopalan, B. Weiskel, P.K., Hooper, R.P., Matalas, N.C. (2015). Hydrology: The interdisciplinary science of water. *Water Resources Research*, 51, 4409-4430. <http://dx.doi.org/10.1002/2015WR017049>
- Vuille, M., Bradley, R. S., Werner, M. y Keimig F. *et al.* (2003). 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. *Climatic Change*, 59, 75-99. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1024406427519>
- Vuille, M., Franquist, E., Garreaud, R., Lavado Casimiro y Cáceres, B. (2015). Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1002/2015jd023126>
- Vuille, M., Kaser, G. y 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.11.003>
- Yap, A. (2015). *Análisis multitemporal de glaciares y lagunas glaciares en la Cordillera Blanca e identificación de potenciales amenazas GLOFs*. Tesis de Licenciatura. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.