



Flujos del agua en la cuenca del río Vilcanota (Cusco, Perú): Un enfoque del valor desde la economía ecológica

Water Flows in Vilcanota river basin (Cuzco, Peru): An approach to value from ecological economics

Miguel Mendoza-Fuentes^{1*}; Roberto Escalante²; Raquel Neyra¹; Lía Ramos¹

1 Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n - La Molina, Lima, Perú.

2 Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3004, Coyoacán, Ciudad de México, CDMX, México.

*Autor correspondiente: 20181466@lamolina.edu.pe (M. Mendoza-Fuentes).

ID ORCID de los autores

M. Mendoza-Fuentes: <https://orcid.org/0000-0002-8092-1365>

R. Escalante: <https://orcid.org/0000-0003-0555-0266>

R. Neyra: <https://orcid.org/0000-0001-5618-7511>

L. Ramos: <https://orcid.org/0000-0003-3946-7188>

RESUMEN

En la última década, la subcuenca del río Vilcanota (Cusco, Perú) ha mostrado una alta vulnerabilidad hídrica debido al cambio climático y a las presiones antrópicas propias del modelo económico. En un contexto de crisis pandémica y ecológica, abordar la complejidad del valor del agua se hace pertinente a fin de superar el uso exclusivo de mecanismos para calcular el valor monetario o sostener una gobernanza ambiental basada en el análisis costo-beneficio. El objetivo principal del estudio fue analizar las tasas de consumo de agua en la subcuenca del río Vilcanota para integrar la gestión con una visión desde la economía ecológica. Para ello se analizaron los factores dinámicos, impactos y respuestas de la gobernanza hídrica, y se abordó el problema del valor mediante el análisis de los flujos hidrológicos con el enfoque de la economía ecológica. Se encontró un alto consumo del sector hogares (urbano: 265151,71 m³/h, rural: 163087,50 m³/h), principalmente debido a la expansión urbana, cambio de uso de suelo y otras problemáticas locales sobre una zona principalmente agrícola, donde se hace necesario un análisis del metabolismo social en la subcuenca del río Vilcanota y la inclusión de la gestión de la complejidad en la política pública ambiental.

Palabras clave: Vilcanota; agua; consumo; metabolismo.

ABSTRACT

In the last decade, the Vilcanota River sub-basin (Cusco, Peru) has shown high water vulnerability due to climate change and anthropogenic pressures typical of the economic model. In a context of pandemic and ecological crisis, addressing the complexity of the value of water becomes pertinent in order to overcome the exclusive use of mechanisms to calculate monetary value or sustain environmental governance based on cost-benefit analysis. The main objective of the study was to analyze water consumption rates in the Vilcanota River sub-basin to integrate management with a vision from ecological economics. To do this, the dynamic factors, impacts and responses of water governance were analyzed, and the problem of value was addressed through the analysis of hydrological flows with the ecological economy approach. A high consumption of the household sector was found (urban: 265151.71 m³/h, rural: 163087.50 m³/h), mainly due to urban expansion, change in land use and other local problems in a mainly agricultural area. where an analysis of the social metabolism in the Vilcanota River sub-basin and the inclusion of complexity management in environmental public policy is necessary.

Keywords: Vilcanota; water; consumption; metabolism.

Recibido: 24-01-2024.

Aceptado: 08-03-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La crisis sanitaria internacional, según cifras oficiales, ha cobrado más de 200 mil fallecidos en Perú (MINSA, 2022). Las Naciones Unidas han señalado que las interrupciones del suministro y el acceso inadecuado al agua potable dificultaron las prácticas higiénicas preventivas frente a la COVID-19 (UN, 2020), obstaculizando el cumplimiento del objetivo 6 de los ODS, que garantiza la disponibilidad de agua y su gestión sostenible. Este hecho nos devuelve a los problemas de escasez y estrés hídrico en zonas vulnerables, que han ido creciendo, así como los conflictos sociales desarrollados en torno al agua. Por otro lado, la pandemia ha resultado en millones de afectados en el mundo, así como en un colapso financiero y una nueva recesión que ha afectado a varios países, los cuales ya emprenden nuevos planes de desarrollo económico (Nicola et al., 2020). Sin embargo, estos planes mantienen paradigmas económicos que la crisis sanitaria ha cuestionado seriamente, como el crecimiento sostenido, por lo que objetarlos y diseñar alternativas se hace una necesidad. En este sentido, propuestas como la del decrecimiento en el norte global ayudan a la construcción de una sociedad post pandemia que busca la sostenibilidad, mediante una reducción del uso de energía y recursos, acompañados de una mejora del bienestar y valores de uso (D'Alisa et al., 2015).

La gestión del agua no se ve desligada de este debate, pues los procesos de cosecha y reciclado del agua pueden seguir los principios del decrecimiento en ambientes urbanos, donde es necesario lograr un manejo equitativo y sostenible del consumo de agua (Domènech et al., 2013). En zonas vulnerables al cambio climático, como la cuenca del río Vilcanota Urubamba (Salzmann et al., 2013; Seimon et al., 2017), los escenarios de recuperación económica frente a la pandemia no están considerando un gestión integral del recurso hídrico que incluya nuevos valores y una optimización de su uso con una mirada post crecimiento. Además, en los países andinos, donde el extractivismo ha generado una gran cantidad de conflictos socioambientales, la paralización de algunos proyectos no obedece necesariamente a una crítica al crecimiento económico, ya que pueden ser congruentes con las visiones andinas, como el buen vivir, o con una perspectiva de crecimiento económico posterior (Pérez-Rincón et al., 2019). Los conflictos por el agua cada vez son mayores, y más en contextos de cambio climático y escasez hídrica, donde los ecosistemas y las personas vulnerables son los principales afectados. Mientras el derecho al agua se ha encasillado a cuestiones tarifarias o retribuciones económicas y la conservación del recurso hídrico está supeditada a cuestiones del mercado, las ciencias sociales ambientales se presentan buscando integrar los conocimientos populares y una visión crítica de la sustentabilidad.

Un forma de romper los paradigmas en la gestión del agua, es la inclusión del ciclo hidrosocial, como una relación dialéctica entre el agua y la sociedad, que representa la naturaleza socio-ecológica del agua, reconociendo actividades antrópicas en los procesos

hidrológicos; considerando a la generación de poderes hídricos como un complejo proceso histórico entre la sociedad y el agua; e incluyendo un análisis de las transformaciones socio ambientales y un enfoque crítico sobre la relación agua-sociedad (Damonte Valencia, 2015; Larsimont & Martin, 2016; Linton, 2011). Entender las dimensiones socioeconómicas producto de la pandemia bajo una mirada integral de cuenca, puede permitir la construcción de escenarios de progreso más integrales, donde el desarrollismo sea cuestionado y el metabolismo social sea un elemento importante para la política ambiental, con la inclusión de nuevos valores. El ciclo hidrosocial puede identificar las acciones y estrategias de actores con poder social, político y económico, así como las entradas y salidas de flujo de agua, que son modificadas por intereses socio-políticos, o se fundamentan en intereses económicos de los afectados (García-Estrada & Hernández-Guerrero, 2019). La pandemia, el estrés hídrico y la crisis climática nos dejan lecciones que debemos aprender rápidamente para ubicar la propuesta de desarrollo dentro de los límites ecológicos de cuenca y reconocer diversos tipos de valor en torno al agua que puedan ayudarnos a su comprensión.

El valor del agua se estudia desde distintas dimensiones para la construcción de una gestión eficiente, equitativa y sostenible, ubicando la evaluación del agua y la valoración de sus flujos dentro del ciclo hidrológico (Seyam et al., 2003). Pero también puede verse sometido a los instrumentos de gestión ambiental que se validan por la economía ambiental, dejando fuera otras perspectivas.

La valoración económica monetaria sobre los servicios ambientales puede ayudar a aumentar la importancia de determinados ecosistemas sobre los tomadores de decisión que la consideran una herramienta adecuada para la gestión sostenible (Schild et al., 2018), así como la puesta en valor de estos servicios es considerada una oportunidad para que estos sean gestionados de una manera económicamente sostenible y garantizar flujos futuros de ingresos para su mantenimiento (Chafla & Cerón, 2016). La sociedad a menudo atribuye valor cuando se sufre las consecuencias de la pérdida de los servicios ambientales que los afectan, ese proceso no puede ser reduccionista con los componentes del valor, ya que la valoración monetaria tiende a prevalecer. Este es un problema de los métodos de valoración basados en preferencias declaradas, por ejemplo, la disponibilidad a pagar por un servicio, puesto que a menudo no podemos valorar lo que no conocemos ni entendemos (Gómez-Baggethun, 2013). Frente a métodos convencionales, la disposición a dar tiempo supera las limitaciones de ingresos y, de hecho, cuenta con un mayor respaldo social (García-Llorente et al., 2016), además que es posible estimar el costo oportunidad del trabajo en hogares de bajos ingresos que optan por la disposición a contribuir con trabajo (Susilo et al., 2017). Si bien las metodologías de valoración económica del ambiente son las más usadas, estas deben tener una adecuada comprensión de la biodiversidad sobre la sustentabilidad (Figuerola,

2005) y son un componente dentro de diversos tipos de valor para la toma de decisiones (Martinez-Alier et al., 1998).

La complejidad de la valoración de la naturaleza (figura 1) busca nuevos métodos, como el análisis biofísico, que considera a los bienes y servicios de los ecosistemas como un stock de capital natural y un flujo que se genera a partir de este, respectivamente (Laterra et al., 2011). El uso de herramientas como el *Análisis Multiescalar del Metabolismo de las Sociedades y Ecosistemas* (MuSIASEM) que permite un análisis a través de diferentes niveles jerárquicos, escalas y dimensiones para llegar a una representación integrada del patrón metabólico (Serrano-Tovar & Giampietro, 2014). El MuSIASEM también puede incluir factores sociales, como el concepto multidimensional de la pobreza, esencial para abordar la construcción de una economía sostenible (Iorgulescu, 2014). Otro ejemplo, es el cálculo del agua virtual con un potencial considerable para ayudar a mejorar la productividad de los recursos limitados de agua dulce, especialmente en el sector agrícola (Bazrafshan et al., 2019), así se cuenta con mejores indicadores sobre requerimientos de agua, considerando el agua virtual, como perspectiva de la producción, y la huella hídrica, desde el consumo humano (Becerra et al., 2013; Velázquez, 2011).

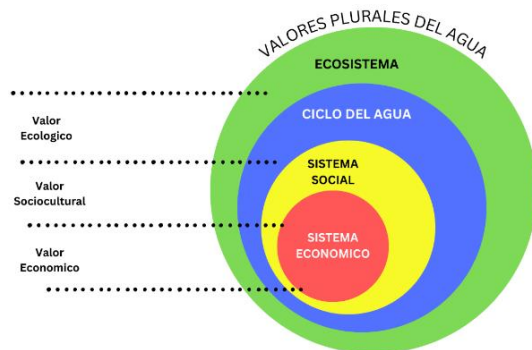


Figura 1. Sistema de organización complejo bajo el enfoque plural de valores del agua.

Los métodos de valoración también pueden mejorar al integrar elementos deliberativos para capturar los componentes del valor social, derivado de los métodos de formación de preferencias y resulta superior a la valoración económica tradicional, como los métodos de preferencias declaradas (Hansjürgens et al., 2016). Los servicios ecosistémicos culturales usualmente no son considerados por los tomadores de decisión, en parte por los retos que implica considerarlo en sus valoraciones económicas (Rewitzer et al., 2017), pese a que la medida del valor social del ambiente tiene conectividad con el valor ecológico y económico, en el sistema de valores del agua, permitiendo entender los retos y debilidades de la gestión de ecosistemas hídricos (Chen et al., 2019). Además, la incorporación de valores sociales para realizar evaluaciones ambientales integrales está incluyendo nuevas métricas con aplicación de los sistemas de información geográfica (Sherrouse et al., 2011), o índices, como el de pobreza de agua, de disponibilidad de agua, de escasez de agua, de vulnerabilidad de los recursos hídricos, de estrés

hídrico social y el indicador de estrés hídrico (El-Gafy, 2018). Se han definido una serie de valores sociales y culturales para los servicios ecosistémicos que son evaluados independientemente como indicadores adimensionales que se estipulan en un rango entre a favor y en contra de estos (Clement & Cheng, 2011; Da Rocha et al., 2017; Sherrouse et al., 2011). Es necesario incluir la variedad de culturas del agua como una política de agua apropiada en lugar de considerar solo las prácticas coloniales y neoliberales (McLean, 2017), para construir intervenciones sensibles al agua dependiendo de las prioridades de cada región para lograr los objetivos de rendimiento de agua deseados (Renouf et al., 2018).

Los estudios de valoración de naturaleza no están exentos completamente de sesgo y subjetividad, ya sea un estudio de Economía Ambiental o Economía Ecológicas. Sin embargo bajo el primer enfoque se busca mejorar el rigor metodológico de la valoración monetaria y bajo el segundo se ha criticado las limitaciones fundamentales de este tipo de valoración (Kallis et al., 2015), por lo que se hace necesario desarrollar valoraciones integrales usando enfoques participativos, que impliquen una primera fase de caracterización, una segunda de evaluación ecológica y socio-cultural, y una tercera de valoración económica (Villegas-Palacio et al., 2016). En este sentido, el reconocimiento de la pluralidad de valores es mandatorio para lograr una sustentabilidad fuerte. La región Cusco, así como la cuenca del río Vilcanota, se encuentra bajo una constante presión antrópica. Una de los principales conflictos en la zona de estudio ha sido la construcción del Aeropuerto Internacional de Chinchero, en la zona del valle sagrado. La obra se desarrolla sobre zonas de regulación hídrica para las lagunas de Piuray y Poncolay, las cuales son fuente principal para la provincia del Cusco y dos comunidades quechuas. El 2016 el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) clasificó al distrito de Chinchero como uno riesgo alto de sequía por la disminución de lluvias y cambios de uso de suelo, así como por los procesos de expansión urbana en los últimos años que han acentuado la presión sobre esta zona (Cárdenas, 2019).

En este sentido, la ley de Recursos hídricos N° 29338 (2008) establece en sus principios, que el agua tiene valor socio-cultural, valor económico y valor ecológico, por lo que su uso óptimo y equitativo debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos. Así mismo, en el artículo 171 de su reglamento (2010) indica que la Autoridad Nacional del Agua, con participación de los Consejos de Cuenca, deberá promover la cultura del valor ecológico, social y económico del agua, entre la población, autoridades en todos los niveles de gobierno y medios de comunicación. Pese a estas directrices para la construcción de políticas, el Ministerio del Ambiente solo cuenta con una *guía de valoración económica de patrimonio natural*, un instrumento de gestión que solo considera el aspecto del valor económico monetario, como si este fuera suficiente para la adecuada toma de decisiones que motiven un uso sostenible de los ecosistemas. En este contexto, los estudios socio ecológicos a nivel de cuencas se hacen más necesarios.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La investigación se desarrolla en el departamento de Cusco (Perú), desde la zona de lagos (distrito de Sicuani) hasta el valle sagrado (distrito de Urubamba), lo que corresponde a la zona altoandina de la subcuenca del río Vilcanota. Esta área (Figura 2) abarca la zona de la Administración Local del Agua (ALA) de Sicuani, y parcialmente con la ALA Cusco, sin considerar la influencia del río Paucartambo, para el análisis del flujo hídrico, y la de las provincias de Acomayo, Anta, Calca, Canchis, Cusco, Quispicanchis y Urubamba, para analizar los patrones de consumo de la población. La cuenca Vilcanota es una zona de régimen climático tropical, sub y extratropical con una corta temporada húmeda entre diciembre y marzo, y una larga temporada seca entre abril y noviembre, con una precipitación anual entre 800 y 1000 mm. Además el río tiene un caudal que varía de un flujo mayor sobre 230 m³/s a un flujo bajo 45 m³/s (Drenkhan et al., 2015). La zona del valle interandino ocupa el 22% del territorio de la región y congrega al 45% de la población, por lo que la cuenca media del río Vilcanota es la zona en la que se encuentra el mayor corredor económico de la región, y se caracteriza por una actividad agraria dinámica en base a productos tradicionales, donde también están presentes la agroindustria y las actividades turísticas. La zona es principalmente agrícola con 92953 unidades agropecuarias identificadas en el último censo agrario (2012). Agricultura familiar de subsistencia (aquella que carece de suficiente tierra, ganado o infraestructura para generar ingresos), agricultura familiar en transición (con dos subgrupos: los agricultores cuyos ingresos netos exceden la línea de pobreza total; y aquellos cuyos ingresos agropecuarios están por debajo de la línea de pobreza total, pero por encima de la línea de pobreza alimentaria) y agricultura familiar consolidada (aquella que cuenta con ingresos netos para presentar una probabilidad baja —menor del 10%— de caer en pobreza en cualquier momento) (Escobal et al., 2015).

DPSIR: Vilcanota

El modelo DPSIR identifica las fuerzas motoras naturales y antropogénicas que afectan al ambiente, y también a los procesos hidrológicos en un ecosistema hídrico (de Sousa-Felix et al., 2017). La integración de valores ecológicos, uso del agua y servicios ecosistémicos en el marco DPSIR, es un valor agregado para la gestión ambiental y los tomadores de decisión (Pinto et al., 2013). El marco de referencia DPSIR es muy usado en la descripción de las relaciones entre los orígenes y las consecuencias de problemas ambientales, para así entender sus dinámicas y concentrándose en los conectores entre los elementos DPSIR (Smeets & Weterings, 1999).

La utilidad de esta herramienta es identificar rutas sostenibles para la gestión localmente relevante al abordar los problemas que se podrían identificar en el momento (Baldwin et al., 2016).

Toma y procesamiento de datos

Los datos se tomaron del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) publicados entre 2013 y 2018 por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) de Perú. Se consideró la oferta de agua

superficial y los volúmenes de agua utilizados a nivel de las Administraciones Locales de Agua (ALA) de Cusco y Sicuani, que se enmarcan en la zona alto andina de la subcuenca del río Vilcanota. Los datos demográficos y socioeconómicos se obtuvieron del Censo 2017 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y documentos del Gobierno Regional de Cusco.

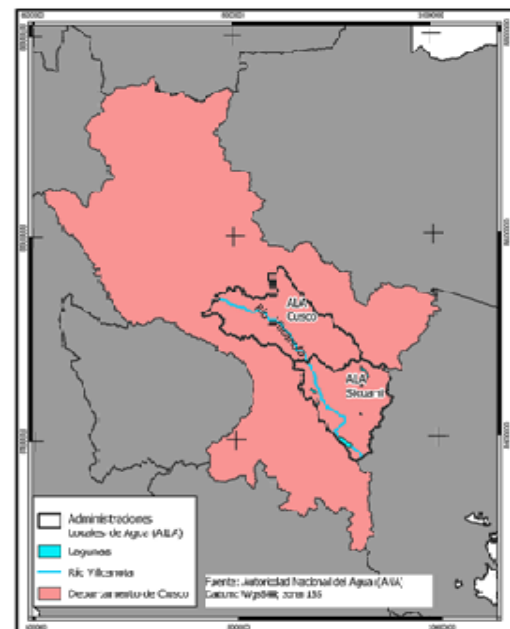
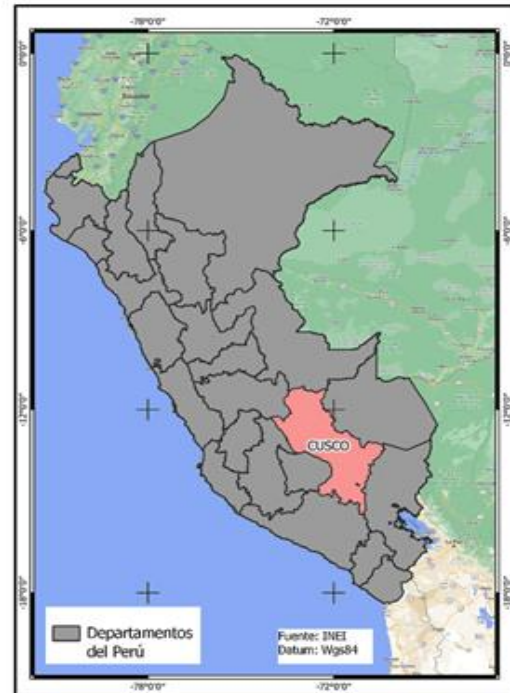


Figura 2. Zona de estudio. Subcuenca Vilcanota, zona alto andina.

Toda la información recogida abarcó las provincias del área de estudio, pero para el caso de la provincia de Calca, solo se consideraron los distritos de Calca, Yanatile y Lares, y para el caso de la provincia de Quispicanchi no se consideraron Marcapata y Camanti.

Gramática del agua: Dendrogramas

El metabolismo social analiza los agentes que transforman los flujos de entrada en los flujos de agua de la cuenca del río Vilcanota, considerando variables descritas en el marco DPSIR. La metodología del Análisis Multiescalar del Metabolismo de las Sociedades y los Ecosistemas (MuSIASEM) (Giampietro & Mayumi, 2000) es una herramienta interdisciplinaria que permite generar una narrativa de desarrollo a partir de patrones metabólicos de usos del agua y límites biofísicos establecidos por el ciclo hidrológico en un período determinado (Rodríguez-Huerta et al., 2019). Basados en el esquema de organización del análisis del metabolismo hídrico del socio-ecosistema (Madrid et al., 2013b) se construyó un dendrograma aplicado a la cuenca del río Vilcanota en la zona altoandina, área administrada por las autoridades locales del agua. En el dendrograma se identificó el aporte hídrico del nivel ecosistémico y el componente de agua azul (agua superficial) de huella hídrica.

La gramática que consideró el uso del MuSIASEM se hizo en base a los dendrogramas construidos para las áreas de influencia de las Autoridades Locales del Agua de Cusco y Sicuani, que corresponden a la zona altoandina de la subcuenca del río Vilcanota, estableciéndose 5 niveles de análisis: el nivel e+1, corresponde a la contribución del ciclo del agua a través de la precipitación; el nivel e, corresponde al agua superficial disponible para la apropiación humana; el nivel s, corresponde a los dos grandes componentes sociales: hogares y actividad económica

(es decir, el trabajo remunerado). Para categorizar este componente se utilizó la clasificación de la población económicamente activa del censo 2017; el nivel s-1, corresponde a dos áreas distintas de apropiación del agua (área urbana y área rural); el nivel s-2, corresponde a las diferentes actividades económicas identificadas, tanto del sector urbano como del sector rural (agricultura, ganadería, silvicultura pesca y acuicultura), así como la agricultura de subsistencia.

La Figura 3 (a y b) se construyó desde el ciclo del agua, donde la precipitación se encuentra en el mayor nivel. A partir de ahí se fue descendiendo de nivel, conforme este proceso se vinculó con los tipos de agua (subterránea, superficial y de suelo), se pasó a una etapa de interfase con el sistema social y los flujos hídricos se subdividieron de acuerdo con los sectores económicos principales, según la información económica de la región Cusco, en las áreas administradas por las autoridades locales del agua (nivel n). En el sub nivel n-1, se dividió el consumo a nivel hogares, cruzando información con la encuesta del INEI que desagregó la información poblacional en urbana y rural (nivel n-2). El sector económico urbano y rural (n-1) se dividió en dos grandes grupos: Por un lado, el de las actividades económicas predominantes y que se diferencia en ambas zonas (1a y 1 b), y por el otro, las actividades rurales (n-2). La desagregación del sub nivel (n-1) al (n-2), se estableció tanto por su contribución en flujos hídricos, así como por su aporte al desarrollo económico, a través del PIB, para la región Cusco.

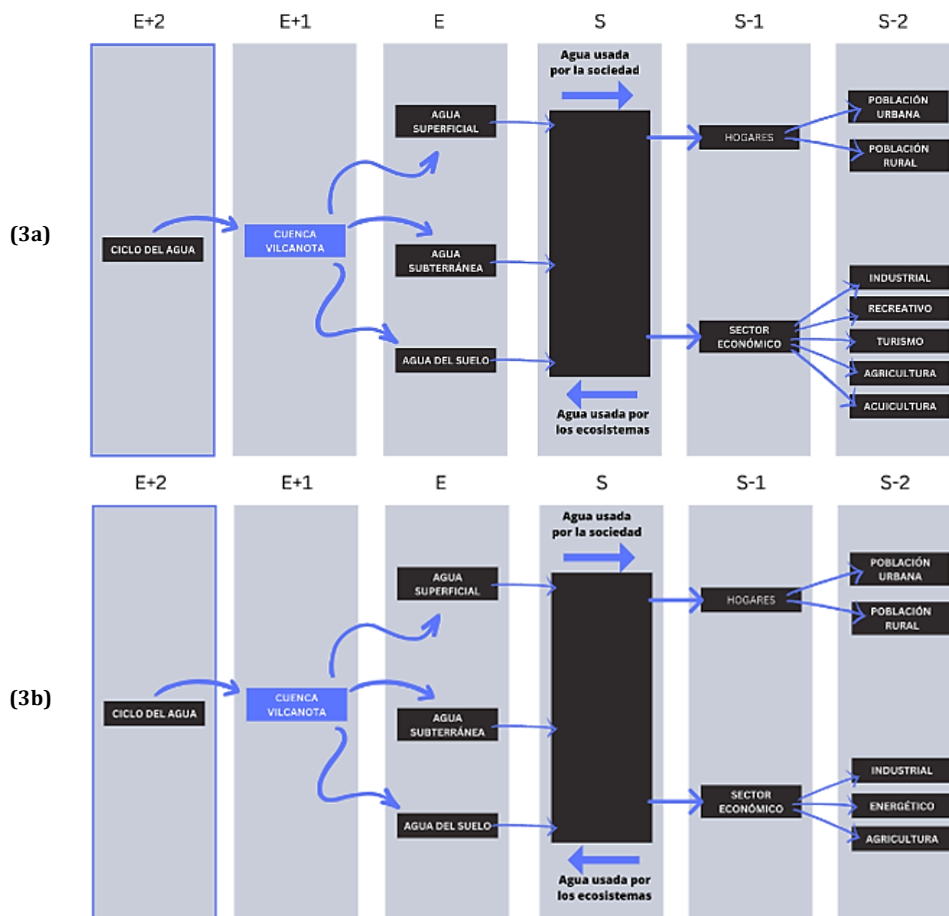


Figura 3. Dendrograma de niveles en las zonas del ALA Cusco (3a) y ALA Sicuani (3b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DPSIR

Se graficó el marco DPSIR para la subcuenca del río Vilcanota interconectado a los distintos elementos que caracterizan el estado socio ecológico de la zona alto-andina de la cuenca (Figura 4). El tramo del valle inter andino es la que concentra las actividades agropecuarias, principalmente la agrícola y pecuaria intensiva, en la región.

Según la ANA, los usuarios están agrupados parcialmente en 40 comisiones de regantes en la junta de usuarios del ALA Sicuani y 80 para la junta de usuarios del ALA Cusco. Se entrevistó a una muestra aleatoria de 93 personas representantes de las juntas, en 17 zonas, logrando una representatividad del 14,17%. Se reconoció una mayor afinidad por el valor histórico y religioso del agua, elementos que no son incorporados en las metodologías de valoración de la autoridad ambiental. Asimismo, reconocieron, principalmente, problemas asociados a la contaminación producto de ciertos proyectos, a la escasez producto del cambio climático, y un deficiente abastecimientos debido a problemas de gestión del agua y saneamiento.

Análisis del Metabolismo Social en la subcuenca Vilcanota

En la Figura 3a se pueden ver los volúmenes reportados por tipo de actividad en el período 2013-2018 para el ALA Cusco. El 2014 se muestra como un año atípico, donde el volumen para uso agrario cayó dramáticamente, para mantenerse

aún más bajo en los sucesivos años. En la figura 3b, el 2014 también reportó una caída drástica del volumen de uso agrario para la zona de Sicuani. Los demás valores mostraron mayor homogeneidad, y en menores tipos de uso para esta área. La cuenca alto andina del río Vilcanota, desde su nacimiento en las cordilleras de Vilcabamba y Vilcanota hasta el valle sagrado de Cusco, es un sistema socio-ecológico que debe ser entendido en niveles analíticos para poder asociar los problemas de la cuenca con el metabolismo social.

El patrón metabólico de la gramática del agua en la cuenca Vilcanota (Figura 5) se calculó como flujos hídricos de volumen por hora. Para determinar el patrón metabólico en el sector productivo se calculó el cociente entre la población económicamente activa (PEA), por provincia y estructurada por actividad económica, con tipo de uso de agua (volumen en m³) respecto del trabajo remunerado con ocho horas diarias de uso, como un punto referencial. Cusco es uno de los departamentos con mayor acceso a red pública (92,6%) y se consideró el número de horas de actividad humana que consumen agua en cada uno de los niveles. El consumo a nivel hogares se realizó estimando 24 horas diarias de uso, y el del sector económico (trabajo remunerado) con ocho horas diarias de uso. Se determinó el número de horas por año de servicio de agua por red pública en las distintas provincias que se encuentran dentro de la cuenca Vilcanota, considerando tanto el consumo urbano como rural.

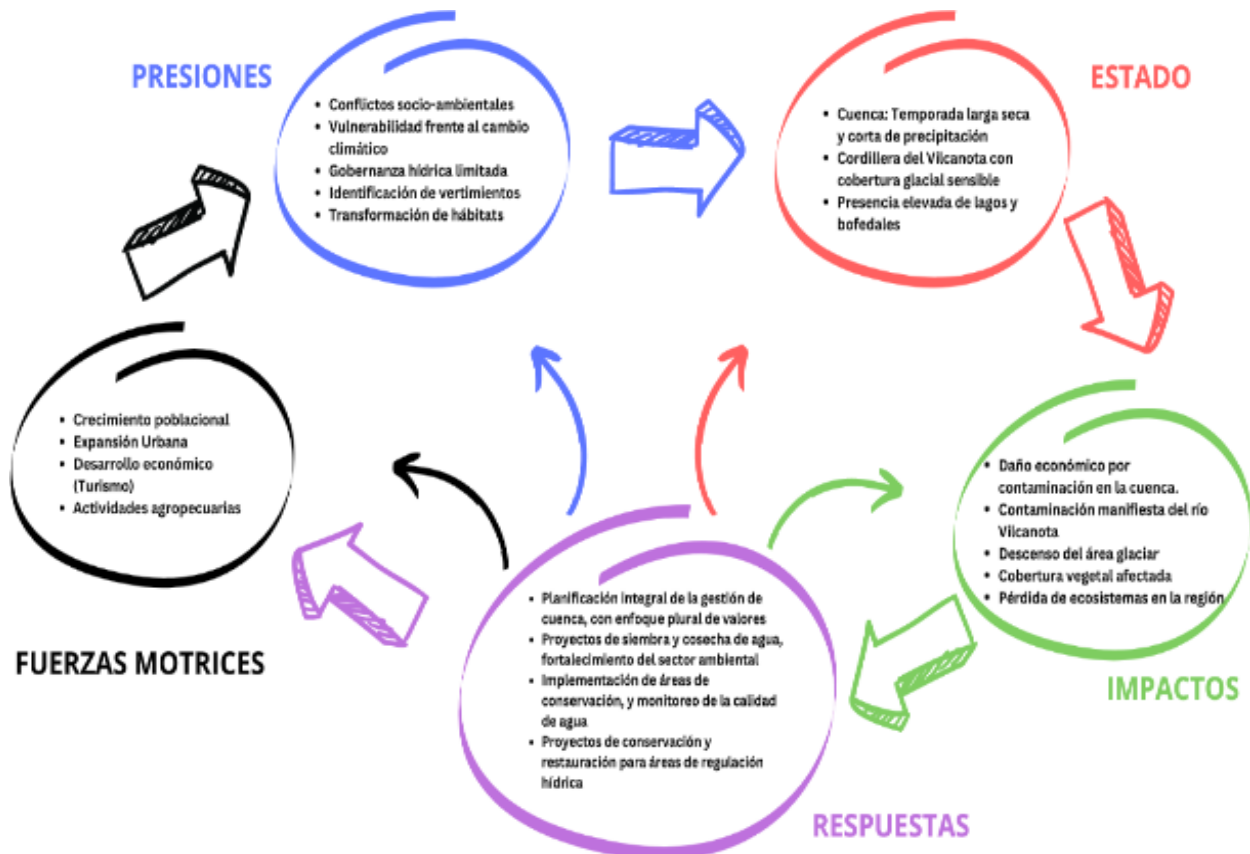


Figura 4. DPSIR en la zona altoandina de la sub cuenca Vilcanota.

Para el análisis de los flujos hídricos se consideraron 3 cocientes: (a) la apropiación social del agua es una categoría semántica (cuantitativa y cualitativa) que vincula el sistemas ecológico y social, y se refiere a la cantidad total de agua extraída para el uso humano, que sufre cambios en su calidad al ser metabolizada por la sociedad (Giampietro et al., 2014); (b) el uso bruto del agua de la subcuenca Vilcanota es la suma de todos los usos reportados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para las distintas actividades humanas; (c) el uso neto del agua es el calculado para las distintas actividades humanas en los niveles: s, s-1 y s-2.

A partir de estos de flujos hídricos de la apropiación social del agua, uso bruto del agua y uso neto del agua de la subcuenca Vilcanota, y de las horas calculadas para las actividades humanas que se realizan en la cuenca, se calcularon las tasas de consumo de agua para cada uno de los niveles definidos, es decir el rendimiento del agua por cada hora de actividad humana.

Las tasas de consumo de agua en la subcuenca Vilcanota (Tabla 1) son bastantes altas en comparación a otros estudios, donde en el nivel "n-1" las tasas son: en sector hogares 0,006 l/h, y sector trabajo remunerado 0,68 l/h para España; mientras que en el sector hogares 4,7 l/h, y sector trabajo remunerado 12,09 l/h, para el caso de Lima, Perú (Madrid et al., 2013a). Al comparar estos resultados con la zona alto andina de la subcuenca Vilcanota, se evidenció un consumo excesivo de agua en todos los niveles, salvo el sub sector urbano (0,29 m³/h) del sector de trabajo remunerado (nivel s-1), y los sub niveles que comprende: turismo y recreación (1,16 m³/h), industrial (0,45 m³/h), y otros usos (1,40 m³/h). Se halló una tasa excesivamente alta para el rubro de consumo en hogares urbanos (265151,71 m³/h), seguido del rubro de familias dedicadas a la agricultura de subsistencia (171499,95 m³/h) y el consumo de hogares rurales (143115,01 m³/h).

Tabla 1

Tasas de consumo de agua en metros cúbicos por hora de actividad humana (m³/h) para el sub nivel

	s	s-1	s-2	Tasa de consumo (m ³ /h)
Sector Hogares	Urbano	Hogares		265151,71
		Hogares Rurales		143115,01
	Rural	Hogares - Agricultura de subsistencia		171499,95
		Turismo y recreación		1,16
Sector Trabajo Remunerado	Urbano	Industrial		0,45
		Otros usos		1,40
		Energético		9375,97
	Rural	Agricultura y acuicultura		102,53

Las elevadas tasas de consumo en hogares estarían asociadas a la gran presión antrópica producto de la expansión urbana y crecimiento desordenado de las principales ciudades, sobre todo la capital del departamento. En el caso de la agricultura de subsistencia, esta es la de principal actividad en el departamento, por lo que su excesiva tasa de consumo puede deberse a muchos factores, sin embargo, habría que tener presente que en la pequeña agricultura

familiar hay uso del agua para el cuidado de los animales, de la huerta familiar, e incluso para el riego de la producción agrícola (Malo Larrea, 2014), también podría deberse a pérdidas en la distribución del agua o una ineficiente gestión del recurso por la empresa de saneamiento, también comentada por actores locales. El análisis de flujos integrados (Figura 5) a la gramática construida permitió evaluar la sustentabilidad a nivel de la subcuenca del río Vilcanota. Cabe considerar que la sustentabilidad tiene distintas perspectivas, como la sustentabilidad débil y fuerte. Frente a la valoración económica que está más ligada a la sustentabilidad débil, donde prima el carácter continuista de una política de sustitución del capital natural, la inclusión de otros tipos de valor, propio de la economía ecológica, se corresponde más con una posición rupturista de esta política (López Pardo, 2012). Y mientras la sustentabilidad fuerte advierte que no todas las valoraciones son económicas, la sustentabilidad super-fuerte descarta el concepto de capital natural, utiliza el de patrimonio natural y sostiene que el ambiente tiene que ser valorado de muy diferentes maneras: valores culturales, ecológicos, religiosos o estéticos, que son tanto o más importantes que el valor económico (Gudynas, 2010).

Es importante ver a los beneficiarios de los servicios ecosistémicos como sujetos que interactúan persiguiendo los beneficios personales y comunales en vez de receptores individuales, y así ir hacia un cambio de políticas incluyentes y plurales en las diferentes realidades de la región (Tauro et al., 2021). Para ello, se hace necesario superar la visión de un ciclo basado en el acceso al recurso hídrico a través de derechos de agua superficial y pasar a la construcción de un ciclo hidrosocial que incluya un análisis de las transformaciones socioambientales y un enfoque crítico sobre la relación agua-sociedad (Larsimont & Martin, 2016). Así no solo se realiza un análisis de contabilidad de flujos hídricos (oferta y demanda de agua) en el marco del ciclo hidrológico, ya que el ciclo hidrosocial lo modifica, ubica el agua en su contexto social, y atiende a la naturaleza política del agua (Linton & Budds, 2014). Esto quiere decir que no se puede entender la pluralidad de valores del agua si no se reconoce la complejidad de su naturaleza. De ahí también la necesidad de incluir la ecología política, que estudia las relaciones entre los factores políticos, económicos y sociales con los conflictos y cambios ambientales, para la planificación de la gestión del agua a nivel de cuenca. La incorporación del factor político sobre el recurso hídrico es importante para mejorar su manejo, porque como se ha visto en este trabajo, el agua es un pilar de organización y gobierno de la sociedad, y sus sectores productivos.

Queda claro que el valor es un término complejo y que varía según la perspectiva que se lo aborde. El estudio de la pluralidad de valores se enmarcó en la construcción de una gestión sustentable de cuenca basado en principios de complejidad y jerarquías naturales. Y es que la economía neoclásica se desconectó de la naturaleza como sistema complejo, y esta abstracción construyó enfoques para incluir lo "ambiental" desde un reducido entendimiento (Rincón-Ruiz 2021). Asimismo, la reformas a la gobernanza del agua deben considerar necesaria-

mente los límites ecológicos de la cuenca para poder darle factibilidad ambiental, viabilidad económica y deseabilidad social. La gestión del agua también puede adaptarse a nuevas propuestas como las del decrecimiento, que propone una disminución de la

producción y que esta sea socialmente útil, herramientas de cooperación, pluralismo de valores, trabajo digno, reducción de tiempo laboral, entre otros (Parrique, 2019).

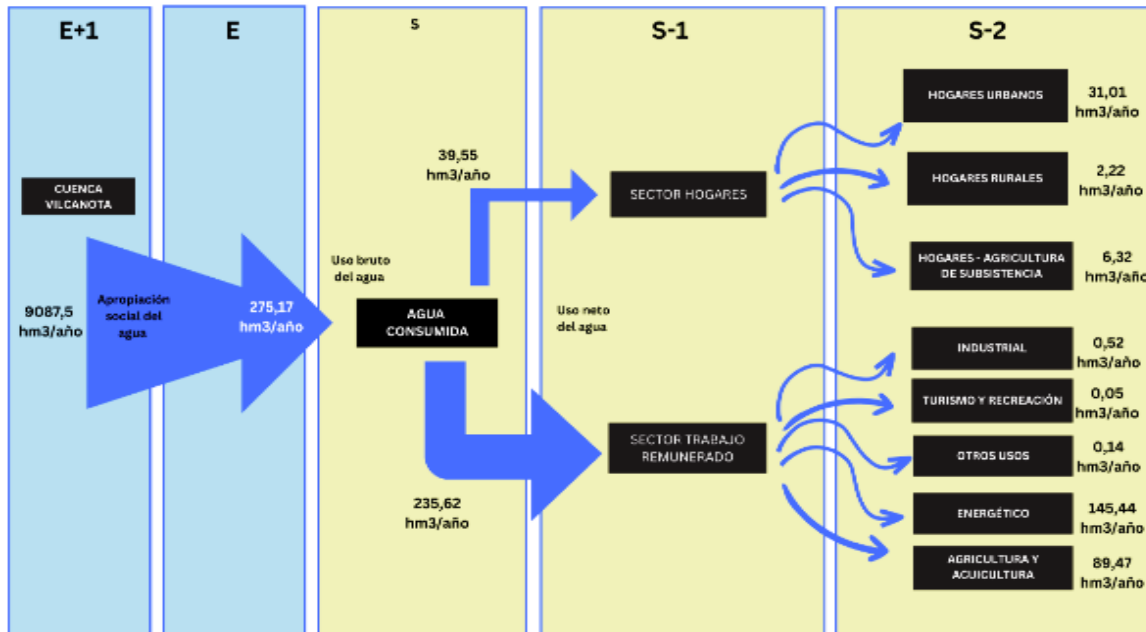


Figura 5. Patrón metabólico del agua (hm³/año), incluyendo el número de horas de actividad humana que consumen agua en cada uno de dichos niveles.

CONCLUSIONES

La reformas a la gobernanza del agua deben considerar necesariamente los límites ecológicos de la cuenca para poder darle factibilidad ambiental, viabilidad económica y deseabilidad social. En este estudio se determinaron las tasas de consumo de agua por la actividad humana realizada en la cuenca Vilcanota. Para las actividades económicas dentro de la zona alto andina el consumo de los hogares ejerce una gran presión en el período estudiado. Las tasas de consumo de agua más altas se dan por el consumo poblacional, tanto de hogares rurales (143115,01 m³/h), pero principalmente en sectores urbanos (265151,71 m³/h). Por otro lado, si bien la tasa para la actividad agrícola es tan solo 102,53 m³/h, la demanda poblacional está principalmente en la

agricultura de subsistencia (171499,95 m³/h), que es donde se registra la mayor cantidad de personas. La contabilidad de flujos debe entenderse dentro del ciclo del agua integrado y transformado por la sociedad, de ahí el valor ecológico de estas, no solo entendido como un parámetro en unidades biofísicas, sino que cruza factores sociales y económico, transformando así el agua en parámetros que analizan integralmente el desarrollo económico dentro de una fuerte mirada de límites ecológicos. Investigar en términos de un valor ecológico, no es limitarlo a una cuestión biológica o geográfica, sino incluir el factor humano y social en el componente natural, y así darle al agua, en este caso, el tratamiento complejo que merece para una mejor gestión del recurso hídrico.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a ProCiencia (Concytec) por el financiamiento recibido para realizar mi tesis

doctoral, a través del convenio N° 200-2015/FONDECYT.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios, G. (1995). *Fitopatología*. S.A. de C. V. México, México: Limusa.
- Baldwin, C., Lewison, R. L., Lieske, S. N., Beger, M., Hines, E., Dearden, P., Rudd, M. A., Jones, C., Satumanatpan, S., & Junchompo, C. (2016). Using the DPSIR framework for transdisciplinary training and knowledge elicitation in the Gulf of Thailand. *Ocean & Coastal Management*, 134, 163-172.
- Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Gerkani Nezhad Moshizi, Z., & Shamili, M. (2019). Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. *Agricultural Water Management*, 213, 368-374.
- Becerra, A. T., Bravo, X. B. L., & Membrive, V. J. F. (2013). Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. Aplicación al Poniente Almeriense. Estudios previos y medidas de eficiencia. *Revista electrónica de Medio Ambiente*, 14(1), 56-86.
- Cárdenas, C. (2019). *Aeropuerto de Chinchero no consideró impacto en cuencas que abastecen de agua a Cusco*. Ojo Público. <https://ojo-publico.com/1435/aeropuerto-de-chinchero-no-considero-impacto-en-lagunas-de-cusco>
- Chafra, P., & Cerón, P. (2016). Pago por servicios ambientales en el sector del agua: El Fondo para la Protección de Agua. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 16.

- Chen, F., Wu, J., Liu, J., Hu, Y., Chen, X., Lim, P.-E., Aznan Abdullah, W. M., Mirah Sjafrin, N. D., & Adirianto, B. (2019). Comparison of social-value cognition based on different groups: The case of Pulau Payar in Malaysia and Gili Matra in Indonesia. *Ocean & Coastal Management*, 173, 1-9.
- Clement, J. M., & Cheng, A. S. (2011). Using analyses of public value orientations, attitudes and preferences to inform national forest planning in Colorado and Wyoming. *Applied Geography*, 31(2), 393-400.
- Da Rocha, S., Almassy, D., & Pinter, L. (2017). *Social and cultural values and impacts of nature-based solutions and natural areas*. Central European University.
- D'Alisa, G., Demaria, F., & Kallis, G. (Eds.). (2015). *Degrowth: A vocabulary for a new era*. Routledge.
- Damonte Valencia, G. H. (2015). Redefiniendo territorios hidrosociales: Control hídrico en el valle de Ica, Perú (1993-2013). *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 12(76), 109. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr12-76.rthc>
- de Sousa-Felix, R. C., Pereira, L. C. C., Trindade, W. N., de Souza, I. P., da Costa, R. M., & Jimenez, J. A. (2017). Application of the DPSIR framework to the evaluation of the recreational and environmental conditions on estuarine beaches of the Amazon coast. *Ocean & Coastal Management*, 149, 96-106.
- Domènech, L., March, H., & Saurí, D. (2013). Degrowth initiatives in the urban water sector? A social multi-criteria evaluation of non-conventional water alternatives in Metropolitan Barcelona. *Journal of Cleaner Production*, 38, 44-55.
- Drenkhan, F., Carey, M., Huggel, C., Seidel, J., & Oré, M. T. (2015). The changing water cycle: Climatic and socioeconomic drivers of water-related changes in the Andes of Peru: 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.
- El-Gafy, I. K. E.-D. (2018). The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(2), 173-186.
- Escobal, J., Fort, R., & Zegarra, E. (Eds.). (2015). *Agricultura peruana: Nuevas miradas desde el Censo Agropecuario*. GRADE.
- Figuroa, J. R. (2005). *Valoración de la biodiversidad: Perspectiva de la economía ambiental y la economía ecológica*. 30, 6.
- García-Estrada, L., & Hernández-Guerrero, J. (2019). Ciclo hidrosocial y acceso al agua en la periferia de la ciudad de Morelia, México: Estudio de caso en La Aldea. *Revista Geográfica de América Central*, 1(64), 269-297.
- García-Llorente, M., Castro, A. J., Quintas-Soriano, C., López, I., Castro, H., Montes, C., & Martín-López, B. (2016). The value of time in biological conservation and supplied ecosystem services: A willingness to give up time exercise. *Journal of Arid Environments*, 124, 13-21.
- Giampietro, M., Aspinall, R., Ramos-Martin, J., & Bukkens, S. (Eds.). (2014). *Resource Accounting for Sustainability Assessment. The Nexus between Energy, Food, Water and Land Use* (First). Routledge.
- Giampietro, M., & Mayumi, K. (2000a). Multiple-Scale Integrated Assessment of Societal Metabolism: Introducing the Approach. *Population and Environment*, 45.
- Giampietro, M., & Mayumi, K. (2000b). Multiple-Scale Integrated Assessments of Societal Metabolism: Integrating Biophysical and Economic Representations Across Scales. *Population and Environment*, 56.
- Gómez-Baggethun, E. (2013). Valoración económica y complejidad ecológica. Implicaciones para la economía verde. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible*, 10, 27-53.
- Gudynas, E. (2010). Desarrollo sostenible: Una guía básica de conceptos y tendencias hacia otra economía. *Otra Economía*, 4(6), 25.
- Hansjürgens, B., Schröter-Schlaack, C., Berghöfer, A., & Lienhoop, N. (2016). Reprint: Justifying social values of nature: Economic reasoning beyond self-interested preferences. *Ecosystem Services*, 22, 228-237.
- Iorgulescu, R. I. (2014). Poverty, Socioeconomic Metabolism, and the Multi-scale Integrated Analysis Approach. *Procedia Economics and Finance*, 8, 407-413.
- Kallis, G., Gómez-Baggethun, E., & Zografos, C. (2015). The limits of monetization in valuing the environment. *Ecological Economics*, 112, 170-173.
- Larsimont, R., & Martin, F. (2016). Agua, poder y desigualdad socioespacial. Un nuevo ciclo hidrosocial en Mendoza, Argentina (1990-2015). En *Cartografías del conflicto ambiental en Argentina 2* (CICCUS).
- Laterna, P., Jobbagy, E. G., & Paurelo, J. M. (2011). *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Linton, J. (2011). The Hydrologic Cycle and the Hydrosocial Cycle. Bridging Hydrosystems and Hydropolitics. *Séminaire Hydrosystèmes et hydropolitiques*.
- Linton, J., & Budds, J. (2014). The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. *Geoforum*, 57, 170-180.
- López Pardo, I. (2012). *Sostenibilidad 'Débil' y 'Fuerte' y Democracia Deliberativa*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Madrid, C., Cabello, V., & Giampietro, M. (2013a). *El metabolismo del agua con MuSIASEM*.
- Madrid, C., Cabello, V., & Giampietro, M. (2013b). Water-Use Sustainability in Socioecological Systems: A Multiscale Integrated Approach. *BioScience*, 63(1), 14-24.
- Malo Larrea, A. (2014). *El metabolismo social, el sumak kawsay y el territorio: El caso de Cuenca, Ecuador*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Martinez-Alier, J., Munda, G., & O'Neill, J. (1998). Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics*, 26(3), 277-286.
- McLean, J. (2017). Water cultures as assemblages: Indigenous, neoliberal, colonial water cultures in northern Australia. *Journal of Rural Studies*, 52, 81-89.
- Ministerio de Agricultura & Riego-MINAGRI. (2019). *Encuesta nacional de intenciones de siembra 2019*. Lima, Perú: Dirección general de seguimiento y evaluación de políticas dirección de estadística agraria.
- Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., Agha, M., & Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review. *International Journal of Surgery*, 78, 185-193.
- Parrique, T. (2019). *The political economy of degrowth*. Université Clermont Auvergne.
- Pérez-Rincón, M., Vargas-Morales, J., & Martínez-Alier, J. (2019). Mapping and Analyzing Ecological Distribution Conflicts in Andean Countries. *Ecological Economics*, 157, 80-91.
- Pinto, R., de Jonge, V. N., Neto, J. M., Domingos, T., Marques, J. C., & Patrício, J. (2013). Towards a DPSIR driven integration of ecological value, water uses and ecosystem services for estuarine systems. *Ocean & Coastal Management*, 72, 64-79.
- Renouf, M. A., Kenway, S. J., Lam, K. L., Weber, T., Roux, E., Serrano-Neumann, S., Choy, D. L., & Morgan, E. A. (2018). Understanding urban water performance at the city-region scale using an urban water metabolism evaluation framework. *Water Research*, 137, 395-406.
- Rewitzer, S., Huber, R., Grêt-Regamey, A., & Barkmann, J. (2017). Economic valuation of cultural ecosystem service changes to a landscape in the Swiss Alps. *Ecosystem Services*, 26, 197-208.
- Rincón-Ruiz, A. (2021). Valoración y complejidad. En *Hacia una valoración incluyente y plural de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos* (pp. 357-358).
- Rodríguez-Huerta, E., Rosas-Casals, M., & Hernández-Terrones, L. M. (2019). Water societal metabolism in the Yucatan Peninsula. The impact of climate change on the recharge of groundwater by 2030. *Journal of Cleaner Production*, 235, 272-287.
- Rojo-Báez, I., García-Estrada, R. S., León-Félix, J., Sañudo-Barajas, A., & Allende-Molar, R. (2016). Histopatología del proceso de infección de *Colletotrichum truncatum* en hojas de papaya y chicharo. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 34(3), 316-325. doi: <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1604-3>
- Salzmann, N., Huggel, C., Rohrer, M., Silverio, W., Mark, B. G., Burns, P., & 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.
- Schild, J. E. M., Vermaat, J. E., de Groot, R. S., Quatrini, S., & van Bodegom, P. M. (2018). A global meta-analysis on the monetary valuation of dryland ecosystem services: The role of socio-economic, environmental and methodological indicators. *Ecosystem Services*, 32, 78-89.
- Seimon, T. A., Seimon, A., Yager, K., Reider, K., Delgado, A., Sowell, P., Tupayachi, A., Konecky, B., McAloose, D., & Halloy, S. (2017). Long-term monitoring of tropical alpine habitat change, Andean anurans, and chytrid fungus in the Cordillera Vilcanota, Peru: Results from a decade of study. *Ecology and Evolution*, 7(5), 1527-1540.
- Serrano-Tovar, T., & Giampietro, M. (2014). Multi-scale integrated analysis of rural Laos: Studying metabolic patterns of land uses across different levels and scales. *Land Use Policy*, 36, 155-170.
- Seyam, I. M., Hoekstra, A. Y., & Savenije, H. H. G. (2003). The water value-flow concept. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(4-5), 175-182.
- Sherrouse, B. C., Clement, J. M., & Semmens, D. J. (2011). A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services. *Applied Geography*, 31(2), 748-760.

- Smeets, E., & Weterings, R. (1999). *Environmental indicators: Typology and overview* (pp. 4-13). European Environment Agency Copenhagen.
- Susilo, H., Takahashi, Y., & Yabe, M. (2017). The Opportunity Cost of Labor for Valuing Mangrove Restoration in Mahakam Delta, Indonesia. *Sustainability*, 9(12), 2169.
- Tauro, A., Ramírez, A., & Balvanera, P. (2021). Valoración plural de la naturaleza: Visibilizando relaciones intrincadas mediante foto entrevistas. En *Hacia una valoración incluyente y plural de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos* (pp. 98-130). Centro editorial - Facultad de Ciencias Económicas.
- UN. (2020). *Report Socio-Economic Impacts of COVID-19*. <https://unsdg.un.org/sites/default/files/2020-03/SG-Report-Socio-Economic-Impact-of-Covid19.pdf>
- Velázquez, E. (2011). Agua virtual, huella hídrica y el binomio agua-energía: Repensando los conceptos. *Agua.org.mx*. <https://agua.org.mx/biblioteca/agua-virtual-huella-hidrica-y-el-binomio-agua-energia-repensando-los-conceptos/>
- Villegas-Palacio, C., Berrouet, L., López, C., Ruiz, A., & Upegui, A. (2016). Lessons from the integrated valuation of ecosystem services in a developing country: Three case studies on ecological, socio-cultural and economic valuation. *Ecosystem Services*, 22, 297-308.