



## ARTÍCULO DE REVISIÓN

### Seguridad hídrica en el acuífero costero La Yarada: desafíos actuales y futuros

Water security in the la Yarada coastal aquifer: current and future challenges

Edwin Pino-Vargas

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Av. Miraflores s/n - Ciudad Universitaria, Tacna, Perú.

#### RESUMEN

El acuífero costero La Yarada, se encuentra emplazado en la cabecera del Desierto de Atacama al norte de Chile siendo uno de los lugares más secos de la Tierra, en este trabajo se busca establecer los desafíos actuales y futuros, para lograr su seguridad hídrica. Se realizó la revisión documentaria de los proyectos hidráulicos ejecutados y futuros ligados al sistema acuífero y su legislación en materia de aguas. Podemos confirmar que la seguridad hídrica en este acuífero, no ha sido alcanzada, el balance hídrico anual cada vez es más negativo y la calidad del agua se viene deteriorando en forma progresiva. Se debe establecer la incorporación de agua al acuífero proveniente de trasvase de agua de cuencas vecinas (Maure, Uchusuma, Sama y Locumba), inducción de infiltración de agua en la zona húmeda, tratamiento de aguas servidas, desalinización de agua de mar o agua de la interfase agua dulce-agua salada.

**Palabras clave:** seguridad hídrica; acuífero La Yarada; calidad del agua; gobernanza del agua.

#### ABSTRACT

The coastal aquifer La Yarada, is located at the head of the Atacama Desert in northern Chile and is one of the driest places on Earth, in this work seeks to establish the current and future challenges to achieve water security. The documentary review of the executed and future hydraulic projects linked to the aquifer system and its water legislation was carried out. We can confirm that the water security in this aquifer has not been reached, the annual water balance is becoming more negative and the water quality is deteriorating progressively. The incorporation of water into the aquifer from water transfer from neighboring basins (Maure, Uchusuma, Sama and Locumba), induction of water infiltration in the humid zone, sewage treatment, desalination of sea water or water must be established. the freshwater-saltwater interface.

**Keywords:** water security; La Yarada aquifer; water quality; water governance.

#### 1. Introducción

En el Perú, las poblaciones urbanas y rurales han variado a lo largo del tiempo. En 1940 la población peruana era predominantemente rural; en 1961 ambas poblaciones representaban casi el 50%; sin embargo, desde los años setenta, la mayoría de la población comenzó a vivir en zonas urbanas. Esto significa que en 67 años el país ha pasado de ser predominantemente rural a predominantemente urbano. En 2007, la población rural representa menos de un cuarto de la población nacional (WHO, 2015). Esta situación genera mayores demandas de agua para el abastecimiento poblacional en las grandes ciudades de la costa peruana, asimismo, se incrementa la demanda hídrica para la producción de alimentos y otras

actividades económicas, lo que trae consigo, mayores exigencias al sistema natural y a su vez procesos de contaminación tanto de orden natural como antropogénico.

Según el Foro Económico Mundial, la contaminación de los acuíferos será exacerbada por disminuciones en el flujo de las corrientes: para la década del 2050, se proyecta que más de 650 millones de personas en 500 ciudades del mundo enfrentarán disminuciones en la disponibilidad de agua dulce de al menos el 10% (WEF, 2019). Alrededor de 500 millones de personas viven en zonas donde el consumo de agua supera los recursos hídricos renovables locales en una relación de dos a uno (Mekonnen y Hoekstra, 2016). Asimismo, según el reporte de riesgos globales, la crisis del agua se ubica en el tercer

lugar de los riesgos globales de mayor impacto y a su vez entre los más probables en materializarse (WEF, 2017).

El cambio en los patrones de consumo, lo que incluye cambiar las dietas hacia alimentos que requieren grandes cantidades de agua, como la carne (es decir, se necesitan 15000 litros de agua para 1 kg de carne vacuna) empeorará la situación. Por lo tanto, no debe sorprender que el Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés) haya evaluado consecutivamente la crisis del agua como uno de los principales riesgos mundiales en los últimos cinco años. En 2016 se determinó que la crisis del agua será el +riesgo mundial más preocupante para las personas y las economías en los próximos diez años (UNESCO, 2017).

La seguridad hídrica debe ser el objetivo estratégico de la política del agua, según este principio normativo debe evaluarse la situación actual de los recursos hídricos, en calidad y cantidad, así como la gestión del agua (Martínez-Austria *et al.*, 2019), en muchos países la seguridad hídrica no ha sido alcanzada y esta se encuentra cada vez más amenazada.

Rekacewicz (2006) elaboró un mapa de Índice de Estrés Hídrico en las cuencas mayores del mundo (Figura 1), puede observarse, existe un número muy elevado de cuencas grandes en las que el recurso hídrico está sobreexplotado, particularmente en Europa, Norte de África, Medio Oriente, India, China y Norteamérica (Martínez-Austria *et al.*, 2019). En el caso de Perú, todas las cuencas de la

costa del país, tienen niveles de alta explotación y en especial la zona sur en sobreexplotación, correspondiendo esta característica al acuífero La Yarada.

En este artículo, se busca establecer los desafíos actuales y futuros, para la seguridad hídrica en el acuífero costero La Yarada, un sistema acuífero emplazado en la cabecera del Desierto de Atacama en el norte de Chile que es uno de los lugares más secos de la Tierra; su núcleo extremo hiperárido recibe menos de 2 mm/año de precipitación (Houston, 2006).

## 2. El agua en el Perú

El Perú se encuentra en el octavo lugar de los países del mundo con mayor cantidad de agua, se encuentra el Amazonas el río más caudaloso del mundo y el Titicaca el lago más alto del mundo, así como miles de lagunas, cientos de ríos y la mayor cantidad de glaciares tropicales del mundo. La Tabla 1 muestra la superficie, habitantes y volúmenes de agua distribuidos por vertientes (ANA, 2009), en la vertiente Amazónica se dispone de 1,98 Hm<sup>3</sup>/año/Km<sup>2</sup> y 189167,17 m<sup>3</sup>/año/hab., lo que representa una ratio de más de 100 veces de la disponibilidad respecto a la vertiente del Pacífico. Los ríos en el país constituyen un total de 159 unidades hidrográficas, de las cuales 62 corresponden a la vertiente del Pacífico, 84 Amazónica y 13 del Titicaca.

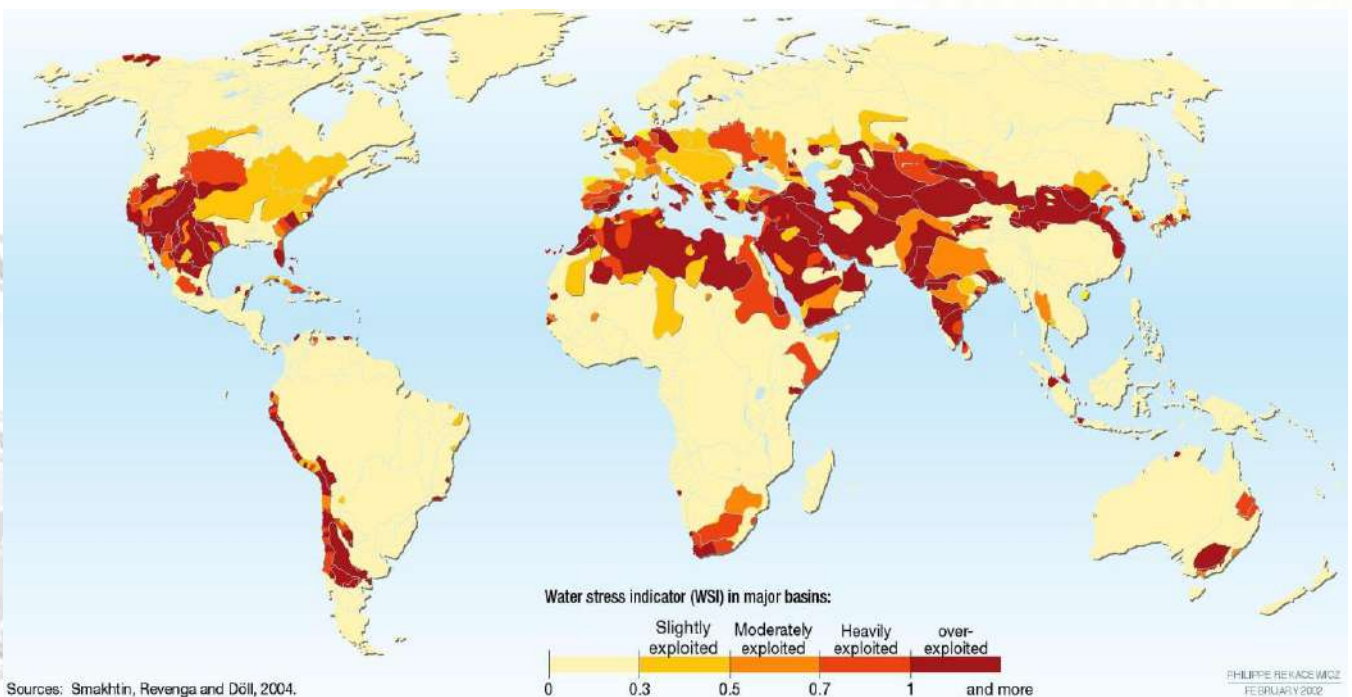


Figura 1. Mapa de Índice de Estrés Hídrico en las cuencas mayores del mundo (Rekacewicz, 2006).

**Tabla 1**

Superficie, población y volúmenes de agua por vertientes en el Perú

Vertiente	Superficie (km <sup>2</sup> )	Población (hab.)	Volumen (Hm <sup>3</sup> /año)	Ratio vol./sup. (Hm <sup>3</sup> /año /km <sup>2</sup> )	Ratio vol./pop. (m <sup>3</sup> /año/hab.)
Pacífico	278483	18801417	34136	0,12	1815,61
Amazonas	957822	10018789	1895226	1,98	189167,17
Titicaca	48910	1246975	6259	0,13	5019,35
Total	1285215	30067181	1935621	1,51	64376,54

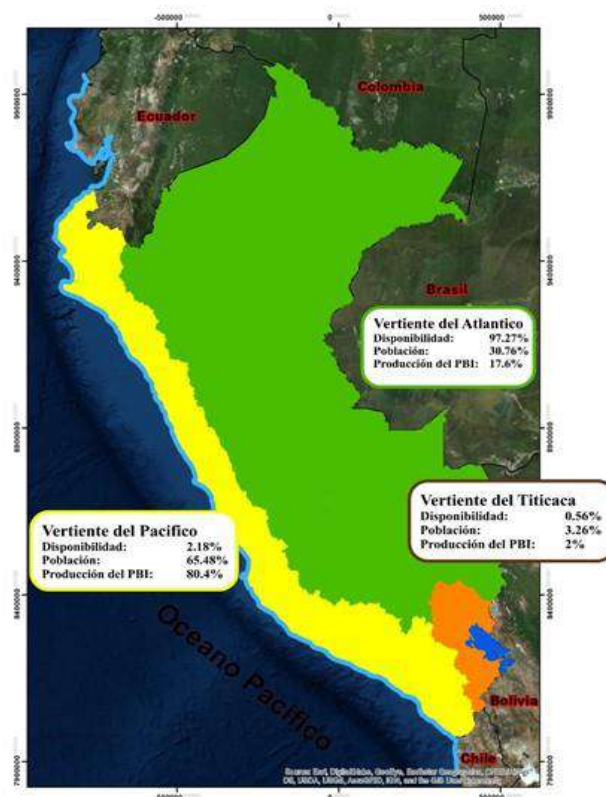
La población del Perú de acuerdo con estimaciones y proyecciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática en enero de 2017, supera actualmente los 32204325 habitantes con una densidad promedio de 24 habitantes por km<sup>2</sup> y su tasa de crecimiento anual es de 1,1%. El 65,48% de la población peruana vive en la vertiente del Pacífico, el 30,76 % en la del atlántico, y el 3,26% en la del Titicaca, mientras que la distribución del agua es totalmente a la inversa, en la vertiente del Pacífico, el 2,18% de disponibilidad, 97,27% en la del atlántico, y el 0,56% en la del Titicaca (Figura 2).

La Amazonía peruana es un área que está cada vez más bajo la presión de la deforestación y contaminación del agua, como consecuencia del crecimiento poblacional, migración rural-urbana y extracción de petróleo y gas, impactando tanto en la cantidad como la calidad del agua (Van Soesbergen y Mulligan, 2014). En la costa y serranía, el estado intenta imponer por decreto oficial medidas correctivas, es a veces un medio eficaz para instalar el orden durante el caótico periodo seco, pero cuando el estado intenta extender su control a las prácticas locales de irrigación de las comunidades, hay resistencia (Gelles, 2000).

El agua subterránea en el Perú, representa una cuota importante de abastecimiento para cubrir la demanda de uso poblacional, irrigación y otros usos. Actualmente en el País, los acuíferos costeros son altamente sensibles a la sobreexplotación, debido al crecimiento de la demanda poblacional y del sector agrícola (Pulcha y Baldeón, 2015). En los últimos años los acuíferos costeros han experimentado un aumento en la demanda hídrica, generando la aparición de procesos de salinización y contaminación de sus aguas por las distintas actividades antropogénicas.

La gobernanza del agua se enfrenta con el problema del aumento de la demanda de recursos hídricos, la creciente variabilidad hidrológica en un contexto de cambio climático, y la contaminación que sigue proliferando. Por tanto, se observa una creciente escasez de agua, en cantidad y calidad, lo que genera competencia y conflictos entre los

actores involucrados (Hendriks y Boelens, 2016). La Autoridad Nacional del Agua (ANA), del Ministerio de Agricultura y Riego, de acuerdo a la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, es el ente rector y máxima autoridad técnico normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, el cual es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (Pino *et al.*, 2018).



**Figura 2.** Distribución del agua y población por vertientes en el Perú.

El manejo de la cuenca y la distribución del agua constituyen una herramienta importante de poder (Cano y Haller, 2018). El conjunto de cuencas como unidad geográfica debe contribuir a construir un país con un sistema político y de gestión de recursos que permita una adecuada distribución del agua, y potencie a cada región con sus recursos naturales, integrándola a un sistema de distribución de oportunidades, de riqueza y de producción (Sabogal, 2009). Para un adecuado manejo del agua es necesario tener presente dos niveles espaciales fundamentales: la cuenca, y el Perú como país. En el caso de la cuenca, el acuífero La Yarada, se encuentra emplazado en la parte baja de la cuenca Caplina, como zona de descarga de dicha cuenca, donde se almacena el agua luego de ocurridos los procesos hidrológicos naturales y los procesos antrópicos en la parte media y alta de la cuenca.

### 3. El acuífero La Yarada

Se encuentra emplazado en la cuenca Caplina (Figura 3), su explotación se inicia por el año 1910, en forma continua en régimen equilibrado y no equilibrado, se ha identificado que la explotación no equilibrada se viene dando desde la década de los 80, con volúmenes de extracción que superan ampliamente a los de recarga. En todo el período de explotación del acuífero, se tiene información de tres balances hídricos realizados. Las instituciones responsables de los balances anuales reportados son: Instituto Nacional de Investigación y Fomento Minero (INIFM) en el año 1965 reportando 36 Hm<sup>3</sup> en balance positivo, Proyecto Especial Tacna, Instituto Nacional de Desarrollo en 1989 reportando -15.5 Hm<sup>3</sup> en balance negativo y el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico en el año 2009 reportando -44.0 Hm<sup>3</sup> en balance negativo, posterior a 2009, no se registran balances en el acuífero. Se identificaron tres unidades geomorfológicas, tales como: la Cordillera Occidental, Puna y Flanco Disectado de los Andes; asimismo se identificó las formaciones geológicas que inciden sobre la calidad del agua en la cuenca, determinándose fuentes geotermales, que emanan agua con alto contenido de Arsénico, Plomo y Sodio en concentraciones por encima de los valores del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) (Pino *et al.*, 2017). La sobreexplotación del acuífero ha provocado que valores altos y medios de la transmisividad y permeabilidad cambien actualmente a medios y bajos, respectivamente. En algunas zonas del acuífero, se ha provocado que la calidad del agua pase de aceptable a mala, evidenciando un deterioro que está relacionado con el incremento de los volúmenes de explotación y la disminución de la recarga de agua de buena calidad (Pino *et al.*, 2019; Pino y Coarita, 2018).

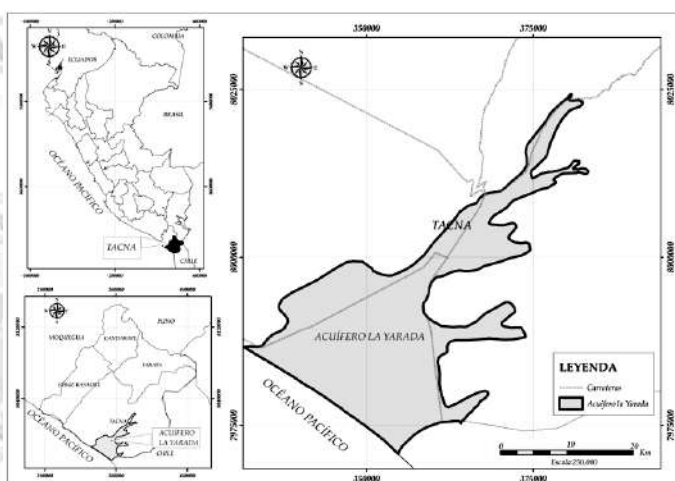


Figura 3. Mapa de ubicación acuífero La Yarada (Pino *et al.*, 2018).

### 4. Uso del agua

Según el Ministerio de Agricultura y Riego en el año 2016, el uso del agua en el país se distribuye 54,02% para uso agrícola, 36,99% energético, 4,20% poblacional, 3,84% industrial, 0,69% minero y 0,26% pecuario. En la región Tacna, el recurso hídrico superficial proviene de los ríos Caplina, Sama y Locumba, y de los trasvases del Maure y el Uchusuma. Si a esto se suman las aguas subterráneas, se tiene una oferta total de 381,4 Hm<sup>3</sup>/año. Como la demanda registrada es de 676,9 Hm<sup>3</sup>/año, hay un déficit de 295,5 Hm<sup>3</sup>/año. Los usos más significativos del agua son agrícola, poblacional, agroindustrial y minero (ANA, 2013).

El uso predominante en el Departamento de Tacna, en cuanto a volumen de agua consumido, corresponde al sector productivo primario, relacionado con las actividades agropecuarias (89,2%). Le sigue el uso minero (7,0%) y poblacional (3,7%), en conjunto con volúmenes hídricos claramente inferiores a los usos agropecuarios. Mucho menor a todos ellos es el uso industrial (0,1%), restringido a actividades productivas de tipo privado localizadas fuera del ámbito urbano (industrias de la alimentación y canteras). Los usos primarios no se contabilizan por no representar volúmenes significativos de recurso y se restringen a suministros de comunidades campesinas alto-andinas y a usos en ceremonias rituales (ANA, 2013).

Respecto a la irrigación La Yarada, el uso del agua va orientado al cultivo representativo, el olivo, al año 2017, las plantaciones de olivo ascienden a 22 906 ha. que representa más del 50% del área cultivada en toda la región Tacna, respecto a la producción de aceituna a nivel nacional, Tacna representa el 86,54% con una producción en el año 2017 de 69254 t., según estadísticas de la Dirección Regional de Agricultura de Tacna (DRAT, 2018), la región La Libertad (0,21%, 162 t.), Lima (2,16%, 1716 t.), Ica (7,56%, 6050 t.), Arequipa (7,56%, 2659 t.) y Moquegua (0,21%, 169 t.).

### 5. Calidad del agua

El 2017, se publica en el diario oficial El Peruano el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, aprobando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. La disponibilidad de recursos hídricos está intrínsecamente ligada a la calidad del agua. La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas puede hacer imposible su utilización ante la ausencia de tratamientos previos costosos (UNESCO, 2017).

Se cuenta con un Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, es de uso obligatorio a nivel nacional



con la incorporación de fuentes de agua internas y externas al sistema acuífero como son los trasvases de agua de cuencas vecinas (Sama, Locumba, Uchusuma, Maure), tratamiento de laderas y tratamiento de aguas residuales, entre otras medidas con fines de inducir la recarga natural y artificial del acuífero, y de esta manera asegurar la disponibilidad de recursos hídricos; asimismo, controlar el deterioro de la calidad del agua, para generar un desarrollo productivo sustentable. También es importante regular la contaminación por nitratos y controlar la contaminación industrial y minera.

En la actualidad, el acuífero presenta crisis en la gobernanza y gobernabilidad, de no tomarse acciones inmediatas por parte del aparato gubernamental, la crisis del sistema podría volverse irreversible, con el consiguiente perjuicio económico que esto acarrea (Pino *et al.*, 2018), por este problema se ven alteradas y rebasadas las leyes respecto a los regímenes de la gestión y limitación de los recursos hídricos subterráneos. Aún no se tienen cifras claras sobre los volúmenes de recarga y explotación, pero se registran descensos continuos según el programa de monitoreo a cargo de la Autoridad Local del Agua (ALA). A su vez, el monitoreo hidroquímico reporta resultados sobre el proceso de salinización por intrusión marina que se viene presentando en el acuífero y su progresivo avance. Revertir esta situación es un quehacer de las instituciones encargadas de la administración del agua y la sociedad civil. El problema del agua es mundial y toda la población debe tomar conciencia de su uso racional, para lograr a futuro los términos de seguridad hídrica deseados.

La educación ambiental, es un elemento fundamental para la conservación del acuífero, en el país, así como en muchos países del mundo no tenemos claros los principios de manejo y conservación racional del agua, más aún se trata este recurso como un bien inagotable, cuando se sabe muy bien que no lo es, el Principio N° 1 de Dublín indica: El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente (WMO, 1992).

## 7. Conclusiones

Según los principios de seguridad hídrica, para el acuífero costero La Yarada, se requiere superar los desafíos actuales y futuros, establecidos primordialmente en revertir los problemas de contaminación por intrusión marina, generada a partir de los desbalances continuos que se vienen dando en el sistema acuífero las últimas décadas, detectados como descensos continuos de nivel freático. El

agua dulce en todas sus formas es un recurso finito y vulnerable, el acuífero, representa una componente importante incluida como aporte en cubrir las demandas hídricas de la región Tacna, por tanto, resulta vital buscar que su uso sea en condiciones de seguridad hídrica. A futuro, se deben establecer lineamientos de uso racional, y a su vez definir cuáles serán las fuentes que serán incorporadas como aportes para la recarga artificial del acuífero.

Las fuentes de agua identificadas para afianzar el acuífero La Yarada, son las siguientes: trasvase de agua de cuencas vecinas (Maure, Uchusuma, Sama y Locumba), inducción de infiltración de agua en la zona húmeda de la cuenca mediante el tratamiento de laderas, tratamiento de aguas servidas, desalinización de agua de mar o agua de la interfase agua dulce-agua salada. El mecanismo de inyección puede ser usando el sistema de barreras hidráulicas mixtas en un inicio y positivas a futuro.

## Agradecimiento

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto de investigación "Integración de métodos hidrodinámicos, hidroquímicos e isotópicos para precisar el funcionamiento y manejo sostenible del acuífero La Yarada, Tacna, Perú", financiado con fondos de canon, sobre canon y regalías mineras de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

## Referencias bibliográficas

- ANA - Autoridad Nacional del Agua. 2009. Plan Nacional de Recursos Hídricos. Ediciones ANA. Lima, Perú. 254 pp.
- ANA-Autoridad Nacional del Agua. 2013. Plan de Gestión de Recursos Hídricos Cuenca CAPLINA-LOCUMBA. Ediciones ANA. Lima, Perú. 31 pp.
- ANA-Autoridad Nacional del Agua. 2014. Informe técnico del cuarto monitoreo participativo 2014 de calidad de agua superficial en las cuencas Caplina Maure, Uchusuma e intercuenca 13155 (realizado del 18/11/2014 al 21/11/2014). Ediciones ANA. Tacna, Perú.
- ANA-Autoridad Nacional del Agua. 2016. Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Ediciones ANA. Lima, Perú.
- Anim-Gyampo, M.; Anomu, G. K.; Appiah-Adjei, E. K.; Agodzo, S. K. 2019. Quality and health risk assessment of shallow groundwater aquifers within the Atankwidi basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development* 9: 100217.
- Cano, D.; Haller, A. 2018. Los servicios ecosistémicos hidrológicos: entre la urbanización y el cambio climático. *Percepción campesina y experta en la subcuenca del río Shullcas, Perú. Espacio y Desarrollo* 31: 7-32.
- DRAT-Dirección Regional de Agricultura de Tacna. 2018. Tacna: Serie histórica cultivos 2008-2017. Disponible en: [http://www.agritacna.gob.pe/link\\_de\\_ol\\_estadi.php](http://www.agritacna.gob.pe/link_de_ol_estadi.php)
- Escobar-Villagrán, B.S.; Palacios-Vélez, Ó.L. 2012. Análisis de la sobreexplotación del acuífero Texcoco, México. *Tecnología y ciencias del agua* 3(2): 67-84.
- Gelles, P.H. 2000. *Water and Power in Highland Peru: The Cultural Politics of Irrigation and Development*. Rutgers University Press. 256 pp.

- Hendriks, J.; Boelens, R. 2016. Acumulación de Derechos de Agua en el Perú. *Anthropologica* 34(37): 13-32.
- Houston, J. 2006. Variability of precipitation in the Atacama Desert: its causes and hydrological impact. *International Journal of Climatology* 26(15): 2181-2198.
- Martínez-Austria, P. F.; Díaz-Delgado, C.; Moeller-Chavez, G. (2019). Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales. *Ingeniería del agua* 23(2): 107-121.
- Mekonnen, M.; Hoekstra, A.Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity See all authors and affiliations *Science Advances* 2(2): e1500323.
- Pino, E.; Ramos, L.; Avalos, O.; Tacora, P.; Chávarri, E.; Angulo, O.; Mejía, J. 2019. Factors affecting depletion and pollution by marine intrusion in the La Yarada's coastal aquifer, Tacna, Peru. *Tecnología y Ciencias del Agua* 10(5): 177-213.
- Pino, E.; Tacora, P.; Steenken, A.; Alfaro, L.; Valle, A.; Chávarri, E.; Mejía, J. 2017. Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y Ciencias del Agua* 8(6): 77-99.
- Pino V., E.; Chávarri V.; E.; Ramos F., L. 2018. Crisis de gobernanza y gobernabilidad y sus implicancias en el uso inadecuado del agua subterránea, caso acuífero costero de La Yarada. *Idesia* 36(3): 75-85.
- Pino E.V.; Coarita, F.A. 2018. Caracterización hidrogeológica para determinar el deterioro de la calidad del agua en el acuífero la yarada media. *Revista de Investigaciones Altoandinas. Journal of High Andean Research* 20(4): 477-490.
- Pulcha, J.; Baldeón, W. 2015. Análisis espacial de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea del acuífero Asia-Omas. *Anales Científicos* 76(1): 150.
- Rekacewicz, P. 2006. Water Scarcity Index. GRID, Arendal. available in: <http://www.grida.no/resources/5586>
- Sabogal, A. 2009. Distribución del agua en el Perú desde una perspectiva de cuenca. *Debates en Sociología* 34: 9-20.
- Singh, A.; Panda, S.N.; Uzokwe, V.N.E.; Krause, P. 2019. An assessment of groundwater recharge estimation techniques for sustainable resource management. *Groundwater for Sustainable Development* 9: 100218.
- UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2017. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Van Soesbergen, A.J.J.; Mulligan, M. 2014. Modelling multiple threats to water security in the Peruvian Amazon using the Water World policy support system. *Earth System Dynamics* 5(1): 55-65.
- Villar, P.C. 2016. Groundwater and the Right to Water in a Context of Crisis. *Ambiente and amp; Sociedade* 19(1): 85-102.
- WEF - World Economic Forum. 2017. The Global Risks Report 2017. Geneva: World Economic Forum.
- WEF - World Economic Forum. 2019. The Global Risks Report 2019. Geneva: World Economic Forum.
- WHO - World Health Organization. 2015. WHO-World Health Statistics 2015. available in: [http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2015/en/](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2015/en/)
- WMO - World Meteorological Organization. 1992. Conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente: cuestiones de desarrollo para el siglo 21, 26-31 enero de 1992, Dublin, Irlanda.
- WWF-World Water Forum); GWP-Global Water Partnership (Eds.). 2000. Towards water security: a framework for action. Stockholm: GWP.
- Yusuf, M.A.; Abiye, T.A. 2019. Risks of groundwater pollution in the coastal areas of Lagos, southwestern Nigeria. *Groundwater for Sustainable Development* 9: 100222.

