



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“HUELLA HÍDRICA Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA
EN EMPRESAS”

Trabajo de Investigación para optar el grado de bachiller en:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Tiffany Krisel Billinghamst Vargas (0000-0002-2215-6044)

Asesor:

Ing. Alfredo David Lescano Lozada (0000-0003-2370-2681)

Lima – Perú

2020



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°198-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTÍFICA.

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 26 de octubre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **HUELLA HÍDRICA Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN EMPRESAS**, presentado por:

- **Tiffany Krisel Billinghamst Vargas**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **HUELLA HÍDRICA Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN EMPRESAS** con N° de registro de la carrera: **067-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Alfredo David Lescano Lozada** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese.


Documento firmado digitalmente
Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

HUELLA HÍDRICA Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN EMPRESAS

Tiffany Billinghamst Vargas^{1*}, Alfredo Lescano Lozada²

¹*Facultad Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima- Perú*

²*Gerente General, ALWA Ingeniería Sostenible, Lima- Perú*

**correo de correspondencia: 100028475@ucientifica.edu.pe*

RESUMEN

Actualmente, a nivel mundial los recursos hídricos son cada vez más escasos, debido a que estos se encuentran bajo presión por el crecimiento demográfico y económico, la contaminación de fuentes de agua, la mala gestión del agua y el cambio climático. El Perú es un país con una alta disponibilidad de recursos hídricos, sin embargo, presenta una distribución desigual de los recursos hídricos, de acuerdo a la población y una gran demanda en crecimiento. Por tal razón, se ha realizado una revisión teórica acerca del interés a nivel mundial y nacional por la gestión del agua, el cual es evidente y se manifiesta en la creación e implementación de diferentes entidades, normas o estándares y políticas que velan por el adecuado manejo del recurso. Luego, se introduce el concepto de huella hídrica y dos metodologías para su cálculo según la Water Footprint Network (WFN) y la norma ISO 14046, con sus respectivas diferencias. También, se hablará sobre el riesgo al que se enfrentan las empresas en una situación de escasez hídrica, la importancia de actuar responsablemente frente a esta situación y algunas formas de hacerlo. Finalmente, se presentan alternativas implementadas por tres empresas de diferentes sectores (agroindustrial, industrial y minería), para la optimización de su consumo de agua, concluyendo que las más sostenibles son la recirculación de agua en sus procesos, el sistema automatizado inteligente de riego, el tratamiento de aguas residuales usando medios biológicos (plantas) y su posterior reaprovechamiento; además de la implementación de estrategias de gestión.

Palabras clave: recursos hídricos, responsabilidad corporativa, huella hídrica, optimización del consumo de agua

ABSTRACT

Currently, worldwide, water resources are increasingly scarce, because they are under pressure from demographic and economic growth, pollution of water sources, poor water management and climate change. Peru is a country with a high availability of water resources, however, it has an unequal distribution of water resources, according to the population and a growing demand. For this reason, a theoretical review has been carried out about the worldwide and national interest in water management, which is evident and manifests itself in the creation and implementation of different entities, norms or standards and policies that ensure adequate Resource management. Then, the concept of water footprint and two methodologies for its calculation according to the Water Footprint Network (WFN) and the ISO 14046 standard, with their respective differences, are introduced. Also, we will talk about the risk faced by companies in a situation of water scarcity, the importance of acting responsibly in the face of this situation and some ways of doing so. Finally, there are alternatives implemented by three companies from different sectors (agroindustrial, industrial and mining), for the optimization of their water consumption, concluding that the most sustainable are the recirculation of water in their processes, the intelligent automated irrigation system, wastewater treatment using biological means (plants) and their subsequent reuse; In addition to the implementation of management strategies.

Keywords: water resources, corporate responsibility, water footprint, optimization of water consumption

REVISIÓN TEÓRICA

1. SITUACIÓN HÍDRICA A NIVEL MUNDIAL

El agua es un recurso indispensable para el abastecimiento de diferentes sectores como el industrial, residencial y agricultura y/o la satisfacción de necesidades básicas como la alimentación, acceso a un sistema de sanidad y energía (Arjen Y. Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). Además, es un bien indispensable para el desarrollo económico de un país o ciudad, ya que alrededor de ocho sectores dependen del recurso hídrico para el desarrollo de sus actividades (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, 2016). Actualmente, la escasez del agua es una problemática a nivel mundial, más de la mitad de las personas en el mundo pasa por esta situación por lo menos un mes al año (Mesfin M. Mekonnen & Hoekstra, 2016). La demanda global de recursos hídricos superficiales ha crecido cuatro veces en los últimos sesenta años (International Water Management Institute, 2019).

Entre sus causas se encuentra el crecimiento exponencial de la población, haciendo que la demanda de recursos hídricos aumente, ejerciendo presión sobre estos (Ercin & Hoekstra, 2014). Ligado a esto está la economía en crecimiento y los modelos de consumo actuales, habiendo aumentado el consumo de carne, lácteos, azúcar y otros productos cuyo requerimiento de agua es mayor (International Water Management Institute, 2007). La disponibilidad de agua también depende del estado de calidad en el que se encuentra el recurso, el agua de mala calidad no podrá satisfacer muchos usos y los costos de tratamiento muy elevados generan mayores trabas (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2016). La contaminación de fuentes de agua es otro factor, debido a que reduce el acceso a recursos hídricos de calidad (Food and Agricultural Organization of the United Nations & International Water Management Institute, 2018). Por otro lado, la inadecuada gestión del agua aumenta la vulnerabilidad a esta situación de escasez (Ding, Tang, Dai, & Wei, 2014). La implementación de estrategias de gestión de recursos hídricos puede apaciguar esta problemática, como por ejemplo la mejora de tecnologías de riego,

mejorar la productividad del recurso, cambiar sistemas de reutilización de agua y de cultivos, entre otros (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Finalmente, el cambio climático y lo que conlleva, como el cambio en precipitaciones y deshielo, afectan tanto la cantidad como calidad de los recursos hídricos (Pachauri et al., 2015). Este cambio, no solo involucra el aumento de la temperatura de los sistemas de agua dulce sino también la variación de la corriente de los ríos lo que tiene efectos negativos en las condiciones del ecosistema (Döll & Zhang, 2010). Incluso para muchos países en desarrollo, el crecimiento económico y el de la población tienen un mayor efecto sobre el estrés hídrico que los cambios en el clima (Schlosser et al., 2014). Lo que sucede es que el cambio climático y todos los efectos que conlleva, aumentan aún más la presión ejercida por los otros factores (Blanc et al., 2014; Döll & Zhang, 2010).

Esta situación está trayendo consecuencias, como la lucha por los derechos sobre el agua, siendo un ejemplo la competencia entre el sector industria y agricultura (Bahri, 2012). Por otro lado, está la inseguridad alimentaria por los desafíos en la producción de alimentos al no haber suficiente agua (Mancosu, Snyder, Kyriakakis, & Spano, 2015), este problema solo se podría combatir con la gestión sostenible del recurso hídrico (Du, Kang, Zhang, & Davies, 2015). Por último, la afectación de la salud humana, economía y ecosistemas como resultado de la incidencia del cambio climático en las condiciones del agua (Pachauri et al., 2015).

2. SITUACIÓN HÍDRICA EN PERÚ

El Perú es uno de los países con mayor porcentaje de recursos hídricos, teniendo el 1.89% del agua dulce mundial (Autoridad Nacional del Agua, s/f). Este país posee tres vertientes hidrográficas: Pacífico, Titicaca y Atlántico cuyos porcentajes de disponibilidad hídrica y población para la vertiente Pacífico son respectivamente 1.76% y 62.53, para Titicaca 0.32% y 4.15%, y para la del Atlántico 97.91% y 33.32% (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015).

Esto se traduce en la distribución desigual del agua respecto a la población (Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM). La cordillera de los Andes, es una cadena montañosa que alberga grandes masas de glaciares tropicales (Drenkhan, Carey, Huggel, Seidel, & Oré, 2015). Estos son los principales proveedores de fuentes de agua, siendo de importancia tanto local como internacional (Gagné, Rasmussen, & Orlove, 2014). En la costa y en zonas áridas, el 80% del agua superficial proviene de glaciares, ríos y lagos (Altamirano, 2020). Lamentablemente, el cambio climático está provocando el retroceso glaciar (desglaciación) lo que disminuye la contribución de agua proveniente de glaciares a cuencas provocando posibles desastres en las poblaciones que se encuentran debajo de estas (Colonia et al., 2017). Alrededor de 42.64% de la superficie de los glaciares en relación a 1970 han desaparecido (Autoridad Nacional del Agua, 2014).

Lima como capital del Perú presenta una serie de problemas, entre estos la sobrepoblación y escasez de servicios básicos como el acceso al agua potable (Cabrera et al., 2002). La sobrepoblación viene ocasionando efectos negativos en el ambiente, como la presión sobre recursos naturales siendo el agua uno de los más significativos (Singh, Singh, & Srivastava, 2016). Al ser el núcleo de la economía del país, Lima recibe casi el 50% de las inmigraciones, estas personas son movidas por su deseo de buscar oportunidades laborales y la mejora de sus condiciones de vida (Organización Internacional para las Migraciones (OIM), 2015). Esto tiene relación con el total de habitantes, siendo el departamento con más población teniendo 9 millones 485 mil 405 de habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018). Asimismo, Lima es la segunda ciudad del mundo ubicada en un desierto con mayor cantidad de habitantes, después de El Cairo en Egipto, representando un desafío en cuanto a la satisfacción de la gran demanda de agua por la población (AQUAFONDO, 2018). Al 2045 la demanda de agua por los pobladores de Lima será de 38 256.33 litros por segundo (lps) debido al incremento de la población, por lo que se ejercerá una mayor presión sobre el recurso (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2014).

3. INICIATIVAS Y NORMATIVA SOBRE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

La inquietud por esta situación se refleja en organizaciones mundiales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015), la cual planteó 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, siendo el objetivo 6 la referente al aseguramiento de brindar agua en cantidad y calidad adecuada, además de su administración sostenible. Asimismo, la ONU y el Banco Mundial convocaron a once líderes para formar parte del Panel Global de Alto Nivel sobre Agua (HLPW) con el fin de representar liderazgo para la lucha contra la crisis de agua y cumplimiento del objetivo 6 (High Level Panel on Water, 2018). Por otro lado, está la fundación del Programa Internacional Hidrológico a mediados de los años 70 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), este se implementa por fases (de 6 años) y actualmente se encuentra en la octava, y tiene el propósito de mejorar la seguridad de los recursos hídricos en respuesta a los restos que presentan diferentes localidades (UNESCO, 2012). Además, a mediados de los años 80 se establece el Instituto Internacional de Gestión del Agua (IWMI), el cual es una organización de investigación científica enfocada en el uso sostenible de recursos hídricos en países en desarrollo a fin de incrementar la seguridad alimentaria, y que trabaja en conjunto con el estado, sociedad civil y empresas (International Water Management Institute, 2019).

A nivel nacional, el interés por los recursos hídricos y su manejo sostenible es evidente desde ya hace muchos años; la Constitución Política del Perú de 1993 en el artículo 66 señala que los recursos naturales, entiéndase dentro de estos los recursos hídricos, pertenecen a la Nación y que el Estado tiene poder sobre su aprovechamiento (Constitución Política del Perú 1993). Por otro lado, en 2005 se publica la Ley N°28611 “Ley General del Ambiente” con el objetivo de orientar una adecuada gestión ambiental, dentro de esta se menciona la importancia del cuidado y administración de los recursos hídricos que debe tener el Estado (Ley N°28611). Además, en 2008 se instituye la Autoridad Nacional del Agua (ANA) por Decreto Legislativo N° 997 como una organización dentro del Ministerio de Agricultura, cuyo fin es orientar mediante normas y

procesos la gestión sostenible del agua, entre estos el Plan Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) y la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (PENRH) (Decreto Legislativo N°997).

La PENRH orienta la actuación del sector público y privado a fin de lograr atender la demanda y el uso sostenible del agua en el país (Autoridad Nacional del Agua, 2013). Mientras que el PNRH determina las medidas del PENRH que posibilitan la resolución de dificultades en la gestión de los recursos hídricos del país, las fuentes de financiamiento y un programa para implementarlas (Autoridad Nacional del Agua, 2013a). También, la ANA (2017) emite una Resolución Jefatural N° 126-2017-ANA promoviendo el cálculo voluntario de la Huella Hídrica dirigida a empresas productoras o prestadoras de servicios con el fin de que estas optimicen su consumo de agua. A las organizaciones participantes en el Programa Huella Hídrica, y que cumplan con sus compromisos, entre estos: el análisis de su huella hídrica, el diseño y ejecución de proyectos de reducción de su huella y de mejora de gestión de recursos hídricos en una cuenca determinada; todo esto en un periodo no menor de un año, así la ANA les reconoce mediante la entrega del Certificado Azul.

4. HUELLA HÍDRICA

El interés por esta herramienta surge a raíz del concepto introducido en el 2002 por Hoekstra, ya que esta muestra a las personas el impacto de sus acciones sobre el recurso hídrico (A.Y Hoekstra, 2003). Diversas entidades han rescatado la importancia de la medición de la Huella Hídrica como medida para disminuir la presión ejercida sobre los recursos hídricos. (Ridoutt & Pfister, 2010). La evaluación de la Huella Hídrica, metodología propuesta por la Water Footprint Network (WFN), nos muestra el consumo de agua directo e indirecto ya sea de una nación, proceso productivo, productos, persona, entre otros, tomando en cuenta sus tres tipos, según origen: Huella Verde, Huella Gris y Huella Azul (Ercin, Mekonnen, & Hoekstra, 2013). La Huella Azul, se refiere a la porción de agua de un cuerpo de agua superficial y subterránea que es consumida (A

Y Hoekstra, Mekonnen, Chapagain, Mathews, & Richter, 2012). La Huella Verde, es el consumo de agua que proviene de precipitación y que posteriormente es evapotranspirada por las plantas (Mekonnen & Hoekstra, 2011). Por último, la Huella Gris alude al agua que se requiere para asimilar los contaminantes que se encuentran presentes (Jeswani & Azapagic, 2011). También, esta herramienta permite evaluar cómo interfieren las acciones humanas en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico y cómo actuar de manera sostenible en torno al consumo del recurso (Arjen Y. Hoekstra et al., 2011).

Por otra parte, la Norma Internacional ISO 14046 Gestión Ambiental-Huella Hídrica-Principios, requisitos y directrices, es otra metodología que ha ganado gran atención desde su publicación en 2014, la cual incorpora la evaluación del ciclo de vida de acorde a la norma ISO 14044 en el cálculo de la huella hídrica (Bai, Ren, Khanna, Zhou, & Hu, 2018). Su evaluación se basa en la cuantificación de los impactos ambientales relacionados con el agua y su aplicación se limita a organizaciones, procesos y productos (ISO 14046:2014). Algunos de estos impactos pueden ser la limitada disponibilidad del agua, degradación de la calidad, eutrofización, acidificación, entre otros (Kounina et al., 2013). Esta contiene cuatro etapas: la primera define el alcance y objetivo, la segunda recopila en un inventario todos los usos de agua durante todo el ciclo de vida del producto, la tercera evalúa los impactos ambientales que pueden resultar del ciclo de vida del producto y en la última etapa se identifican los impactos potenciales (Bai et al., 2018; Boulay et al., 2013).

Entre las diferencias de estas dos metodologías, está la forma en que comunican sus resultados sobre la huella hídrica por más que en ambas se calcula el uso del agua e impactos (Pfister et al., 2017). Por otro lado, a pesar de que ambas tienen la finalidad implícita de ayudar a los involucrados a la preservación del recurso hídrico, la manera de lograrlo es diferente (Boulay, Hoekstra, & Vionnet, 2013). Finalmente, la ISO 14046 se enfoca solo en la sostenibilidad del producto mientras que la metodología propuesta por la WFN se basa en el análisis de la gestión sostenible del recurso hídrico a nivel local o global (Arjen Y. Hoekstra, 2016).

5. RIESGO CORPORATIVO DEL AGUA

El sector privado depende de los recursos hídricos, al igual que personas, naciones y la propia naturaleza; y la competencia por este recurso incrementará cada vez más (World Business Council For Sustainable Development, 2018). Actualmente, las empresas se enfrentan a una situación preocupante, para estas es difícil el acceso al recurso hídrico de calidad y rentable por lo que deben ser conscientes de los impactos en el uso del agua (Morrison, Schulte, & Schenck, 2009). Esta situación de inseguridad hídrica que enfrenta una organización, se conoce como riesgo corporativo del agua (Money, 2014). Además, este riesgo se puede traducir en riesgos físicos, reputacionales y reguladores, y varían por sector o empresa (Barton, 2010).

En 2019 el Foro Económico Mundial (WEF) en su reporte sobre riesgos incluye a la crisis de agua en su top 10 de riesgos en materia de impactos que las empresas enfrentan (World Economic Forum, 2019). La mala gestión del agua en una empresa incrementa el riesgo de la escasez del recurso, daña la imagen de la organización y se presentan riesgos financieros por contaminación del agua (Gerbeens-Leenes & Hoekstra, 2008). También se afecta la rentabilidad de la organización, ya que al estar expuestas a riesgo se desacelera su crecimiento (World Business Council For Sustainable Development, 2018).

Como se mencionó anteriormente, las empresas deben ser conscientes sobre sus acciones y hacerse responsables de los impactos que tienen estas sobre el recurso hídrico, esto pertenece al concepto de Responsabilidad Social Corporativa (Lambooy, 2011). Logrando a su vez, la armonía con la sociedad donde se está desarrollando las actividades de la empresa y contribuye a la confiabilidad y competitividad en el mercado, evitando futuros riesgos (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2001). Algunas de las iniciativas para el manejo eficiente del recurso hídrico y control de su contaminación, han sido la creación de un instrumento llamado Herramienta global del agua (GWT) por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) la cual identifica los riesgos que tiene la empresa en torno al

agua y oportunidades (World Business Council For Sustainable Development, 2015). Por otro lado, la institución Global Reporting Initiative, conocida por establecer estándares para la evaluación de sostenibilidad en empresas, desarrolló el estándar GRI 303 Agua y Efluentes que tiene como objetivo reflejar la gestión del recurso y efluentes (Global Reporting Initiative, 2018). También, se encuentra el desarrollo de otros estándares para la gestión ambiental como las normas ISO y EMAS (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2001).

6. ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA

La reducción del consumo de agua, si bien surge de un cambio en la forma de pensar y actuar de las empresas, movido principalmente por los beneficios económicos que conlleva transformar sus procesos por unos más sostenibles y eficientes, asimismo tiene impactos positivos en el ambiente y sociedad (Cervantes, Sosa, Rodríguez, & Robles, 2009). Además de la reducción de costos en el pago por el servicio de abastecimiento del servicio de agua y alcantarillado, se da la reducción de la presión hídrica por disminución de la demanda y descarga de efluentes (Manco, Guerrero, & Ocampo, 2012). A continuación, se presentarán casos de tres diferentes sectores: agroindustrial, industrial y minería, en los que se han implementado medidas de optimización del consumo de agua.

La minera Buenaventura en su compromiso de gestionar el agua de manera adecuada, ha implementado distintas alternativas: un sistema de recirculación de agua en sus unidades mineras de tajo abierto y subterráneas, logrando un 85% de recirculación y usando solo el 16% del volumen de agua a la que están autorizados; la construcción de embalses para el aprovechamiento del agua de lluvia en época seca (alrededor de 120 millones de m³ anuales) y el tratamiento de sus aguas residuales industriales mediante diferentes metodologías como lodos de alta densidad, plantas de destrucción de cianuro y ósmosis inversas, para posteriormente descargarla hacia un cuerpo de agua autorizado por la normativa vigente. (Buenaventura, 2018). Incluso, la unidad minera Coimolache de la empresa ha sido reconocida por la Autoridad Nacional del Agua

mediante la entrega del Certificado Azul por sus buenas prácticas en torno al uso eficiente del recurso hídrico, entre estas el compensar los impactos del consumo de agua en las cuencas de influencia del proyecto. (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

La empresa Unión Andina de Cementos S.A.A. (UNACEM) es líder en la industria del cemento y otros materiales de construcción, y ha implementado un Programa de gestión del recurso hídrico en todas sus instalaciones donde se incluye la recirculación del agua de algunos procesos, sistemas de control en servicios higiénicos como la identificación de fugas en cañería e inodoros y su mantenimiento y mejora, riego tecnificado para las áreas verdes, una Planta de tratamiento de aguas residuales mediante lagunaje, biotecnología y desinfección, la cual cuenta con un controlador de algas y cuatro filtros de gravas mejorando así la calidad del agua residual para riego de sus áreas verdes y capacitación al personal en el uso eficiente del agua (UNACEM, 2018). También, la Autoridad Nacional del Agua ha otorgado el Certificado Azul debido a sus acciones sostenibles en cuanto al cuidado del agua dentro de estas la gestión del agua en sus procesos le llevo a reducir su consumo (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

Camposol, empresa agroindustrial, ha implementado un sistema de riego automatizado y tecnificado por sensores que detectan el requerimiento de agua de los cultivos, además del tratamiento biológico de sus aguas residuales mediante el uso de planta jacinto de agua ya que su estructura funciona como filtros biológicos removiendo las sustancias biodegradables, no biodegradables, nutrientes, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos y su posterior uso para riego (Camposol, 2017). Esta empresa también ha sido certificada por la ANA por el cumplimiento de sus compromisos hídricos, entre estos ser la primera empresa agroindustrial en realizar el cálculo de la huella hídrica mediante la norma ISO 14046 y la reducción de esta, logrando 3,347 mil m³ de agua ahorrados, 122 mil m³ de agua reusada, 110 mil m³ de agua tratada. (Autoridad Nacional del Agua, 2019).

CONCLUSIONES

Después de la investigación, se concluye que los recursos hídricos son imprescindibles para el abastecimiento de diferentes sectores empresariales, y que la presión y escasez del agua impide la realización de sus actividades. Por lo que implementar medidas de gestión del recurso es esencial; el cálculo de la huella hídrica es el primer paso, considerando la metodología de la Water Footprint Network la más óptima debido a su mayor alcance y precisión. Finalmente, dentro de las alternativas para reducir el consumo de agua en empresas, se consideran las más eficientes y sostenibles: la recirculación de agua en sus procesos, el sistema automatizado inteligente de riego, el tratamiento de aguas residuales usando plantas y su posterior reaprovechamiento; y la implementación de estrategias de gestión como el cumplimiento de estándares a favor del agua, la huella hídrica y capacitación de los trabajadores para generar consciencia en cuanto al uso eficiente del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, T. (2020). Climate Change, Vulnerability, Social Conflicts and Human Displacement in the Andes: The case of Huaytapallana Glacier. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 1, 3–8.
- AQUAFONDO. (2018). *Huella Hídrica de los usuarios de agua en Lima Metropolitana*. Recuperado de <https://aquafondo.org.pe/wp-content/uploads/2018/06/Huella-Hídrica-de-los-usuarios-de-agua-en-Lima-Metropolitana-AQUAFONDO-..compressed.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua. (s/f). El agua en cifras. Recuperado el 14 de noviembre de 2019, de <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Autoridad Nacional del Agua. (2013a). *Plan Nacional de Recursos Hídricos*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/plannacionalrecursoshidricos2013.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua. (2013b). *Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/nosotros/planificacion-hidrica/politica-estrategia-recursos-hidricos>
- Autoridad Nacional del Agua. (2014). Inventario de glaciares del Perú (2da actualización). En *Autoridad Nacional del Agua*. Recuperado de Autoridad Nacional del Agua website: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3646>
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). Certificado Azul reconoce a importantes empresas por uso eficiente del agua. Recuperado el 1 de diciembre de 2019, de <https://www.ana.gob.pe/noticia/certificado-azul-reconoce-importantes-empresas-por-uso-eficiente-del-agua>
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). Entregan Certificado Azul a empresas hídricamente responsables. Recuperado el 1 de diciembre de 2019, de <https://www.ana.gob.pe/noticia/entregan-certificado-azul-empresas-hidricamente-responsables>
- Bahri, A. (2012). *Integrated Urban Water Management*. Recuperado de www.gwptoolbox.org

- Bai, X., Ren, X., Khanna, N. Z., Zhou, N., & Hu, M. (2018). Comprehensive water footprint assessment of the dairy industry chain based on ISO 14046: A case study in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.021>
- Barton, B. (2010). *MURKY WATERS? Corporate Reporting on Water Risk- A Benchmarking Study of 100 Companies*. Recuperado de http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/Murky_Waters.pdf
- Blanc, E., Strzepek, K., Schlosser, A., Jacoby, H., Gueneau, A., Fant, C., ... Reilly, J. (2014). Modeling U.S. water resources under climate change. *Earth's Future*, 2(4), 197–224. <https://doi.org/10.1002/2013ef000214>
- Boulay, A.-M., Hoekstra, A. Y., & Vionnet, S. (2013). Complementarities of Water-Focused Life Cycle Assessment and Water Footprint Assessment. *Environmental Science & Technology*, 47(21), 11926–11927. <https://doi.org/10.1021/es403928f>
- Buenaventura. (2018). Reporte de Sostenibilidad 2018. Recuperado de https://buenaventura.com/assets/reporte_de_sostenibilidad_2018/es/assets/pdf/reporte_de_sostenibilidad.pdf
- Cabrera, C., Maldonado, M., Arévalo, W., Pacheco, R., Giraldo, A., & Loayza, S. (2002). RELACIONES ENTRE CALIDAD AMBIENTAL Y CALIDAD DE VIDA EN LIMA METROPOLITANA. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 5(9), 47–52. Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/664/518>
- Camposol. (2017). Informe de Sostenibilidad 2017. Recuperado de http://camposol.com.pe/wpcontent/uploads/2019/02/camposol_sustainability_report_2017.pdf
- Cervantes, G., Sosa, R., Rodriguez, G., & Robles, F. (2009). Ecología industrial y desarrollo sustentable. *Ingeniería*, 13(1), 63–70. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46713055007.pdf>
- Colonia, D., Torres, J., Haerberli, W., Schauwecker, S., Braendle, E., Giraldez, C., & Cochachin,

- A. (2017). Compiling an inventory of glacier-bed overdeepenings and potential new lakes in de-glaciating areas of the peruvian andes: Approach, first results, and perspectives for adaptation to climate Change. *Water*, 9(5), 336. <https://doi.org/10.3390/w9050336>
- Constitución política del Perú 1993. Congreso de la República, Lima, Perú, setiembre, 2017.
- Decreto Legislativo N°997. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 13 de marzo de 2008.
- Ding, Y., Tang, D., Dai, H., & Wei, Y. (2014). Human-Water Harmony Index: A New Approach to Assess the Human Water Relationship. *Water Resources Management*, 28(4), 1061–1077. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0534-1>
- Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú, 22 de mayo de 2009.
- Döll, P., & Zhang, J. (2010). Impact of climate change on freshwater ecosystems: a global-scale analysis of ecologically relevant river flow alterations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 783–799. <https://doi.org/10.5194/hess-14-783-2010>
- 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. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(6), 715–733. <https://doi.org/10.1002/wat2.1105>
- Du, T., Kang, S., Zhang, J., & Davies, W. J. (2015). Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China’s food security. *Journal of Experimental Botany*, 66(8), 2253–2269. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv034>
- Ercin, A. E., & Hoekstra, A. Y. (2014). Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Environment International*, 64, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.019>
- Ercin, A. E., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2013). Sustainability of national consumption from a water resources perspective: The case study for France. *Ecological Economics*, 88, 133–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.01.015>
- Food and Agricultural Organization of the United Nations, & International Water Management Institute. (2018). *More people, more food, worse water? a global review of water pollution from agriculture* (J. Mateo-Sagasta, S. Marjani Zadeh, & H. Turrall, Eds.). Recuperado de www.fao.org/

- Gagné, K., Rasmussen, M. B., & Orlove, B. (2014). Glaciers and society: attributions, perceptions, and valuations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(6), 793–808. <https://doi.org/10.1002/wcc.315>
- Gerbeens-Leenes, P. W., & Hoekstra, A. Y. (2008). *Business water footprint accounting: A tool to assess how production of goods and services impacts on freshwater resources worldwide*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/254859145_Business_water_footprint_accounting_A_tool_to_assess_how_production_of_goods_and_services_impacts_on_freshwater_resources_worldwide
- Global Reporting Initiative. (2018). *GRI 303: Water and Effluents 2018-Introduction to the revised Standard*. Recuperado de https://www.globalreporting.org/SiteCollectionDocuments/2018/CSE/GRI_303_Water_and_Effluents_2018_Presentation.pdf
- High Level Panel on Water. (2018). *An Agenda for Water Action*.
- Hoekstra, A.Y. (2003). *Virtual water trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade Value of Water Edited by*. Recuperado de <https://waterfootprint.org/media/downloads/Report12.pdf>
- Hoekstra, A Y, Mekonnen, M. M., Chapagain, A. K., Mathews, R. E., & Richter, B. D. (2012). Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. *PLoS ONE*, 7(2), 32688. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>
- Hoekstra, Arjen Y. (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators*, 66, 564–573. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026>
- Hoekstra, Arjen Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. En *The Water Footprint Assessment Manual* (1a ed.). <https://doi.org/10.4324/9781849775526>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1342/libro

pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). Resultados Definitivos. En *Censos económicos*. Recuperado de

http://www.inr.pt/uploads/docs/recursos/2013/20Censos2011_res_definitivos.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Recuperado de

[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=aJ-](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=aJ-TBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1142&dq=Freshwater+resources,+Climate+Change+2014:+Impacts,+Adaptation,+and+Vulnerability&ots=v1SwKN76GG&sig=A100DmVdhmd99HDzMjdH5M6HXA8#v=onepage&q=WATER+SCARCITY&f=false)

[TBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1142&dq=Freshwater+resources,+Climate+Change+2014:+Impacts,+Adaptation,+and+Vulnerability&ots=v1SwKN76GG&sig=A100DmVdhmd99HDzMjdH5M6HXA8#v=onepage&q=WATER SCARCITY&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=aJ-TBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1142&dq=Freshwater+resources,+Climate+Change+2014:+Impacts,+Adaptation,+and+Vulnerability&ots=v1SwKN76GG&sig=A100DmVdhmd99HDzMjdH5M6HXA8#v=onepage&q=WATER+SCARCITY&f=false)

International Water Management Institute. (2007). *A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. London.

International Water Management Institute. (2019). *Innovative water solutions for sustainable development*. <https://doi.org/10.5337/2019.208>

Jeswani, H. K., & Azapagic, A. (2011). Water footprint: Methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. *Journal of Cleaner Production*, *19*(12), 1288–1299. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.003>

Kounina, A., Margni, M., Bayart, J. B., Boulay, A. M., Berger, M., Bulle, C., ... Humbert, S. (2013). Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *18*(3), 707–721. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0519-3>

Lambooy, T. (2011). Corporate social responsibility: Sustainable water use. *Journal of Cleaner Production*, *19*(8), 852–866. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.009>

Ley N°28611. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 15 de octubre de 2005.

Manco, D., Guerrero, J., & Ocampo, A. (2012). Eficiencia en el consumo de uso residencial. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *11*(21), 23–38. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75025842003>

Mancosu, N., Snyder, R., Kyriakakis, G., & Spano, D. (2015). Water Scarcity and Future

- Challenges for Food Production. *Water*, 7(12), 975–992. <https://doi.org/10.3390/w7030975>
- Mekonnen, M M, & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1577–1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Mekonnen, Mesfin M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- Money, A. (2014). Corporate Water Risk: A Critique of Prevailing Best Practice. *Journal of Management and Sustainability*, 4(1). <https://doi.org/10.5539/jms.v4n1p42>
- Morrison, J., Schulte, P., & Schenck, R. (2009). *CORPORATE WATER ACCOUNTING An Analysis of Methods and Tools for Measuring Water Use and Its Impacts*. Recuperado de www.pacinst.org
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2001). *Corporate Responsibility: Private initiatives and public goals*. Recuperado de www.copyright.com.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (Vol. 15900). Recuperado de http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/70/L.1&Lang=S
- Organización Internacional para las Migraciones (OIM). (2015). *MIGRACIONES INTERNAS EN EL PERÚ A NIVEL DEPARTAMENTAL*. Recuperado de [https://peru.iom.int/sites/default/files/Documentos/20-03-2017_Publicación Migracion Interna por Departamentos 2015_OIM.pdf](https://peru.iom.int/sites/default/files/Documentos/20-03-2017_Publicación_Migracion_Interna_por_Departamentos_2015_OIM.pdf)
- Pachauri, R. K., Meyer, L., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., ... van Boxmeer, F. (2015). *Cambio climático 2014 Informe de síntesis*. Recuperado de <http://www.ipcc.ch>.
- Pfister, S., Boulay, A. M., Berger, M., Hadjikakou, M., Motoshita, M., Hess, T., ... Henderson, A. (2017). Understanding the LCA and ISO water footprint: A response to Hoekstra (2016) “A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA”. *Ecological Indicators*, 72, 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.051>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: agua y empleo*.

Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244103>

- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244187_spa?posInSet=12&queryId=23ce1941-8a14-47ab-bb7e-3a9e2d5b1f77
- Ridoutt, B., & Pfister, S. (2010). Reducing humanity's water footprint. *Environmental Science & Technology*, *44*, 6019–6021. <https://doi.org/10.1021/es101907z>
- Schlosser, C. A., Strzepek, K., Gao, X., Fant, C., Blanc, É., Paltsev, S., ... Gueneau, A. (2014). The future of global water stress: An integrated assessment. *Earth's Future*, *2*(8), 341–361. <https://doi.org/10.1002/2014ef000238>
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. (2014). *Plan Maestro de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Tomo II Estimación Oferta-Demanda de los servicios*. Recuperado de http://www.sedapal.com.pe/Contenido/gdi_pmo/TOMOS/Tomo II Estimacion Oferta-Demanda de los Serv..PDF
- Singh, R. P., Singh, A., & Srivastava, V. (2016). Environmental issues surrounding human overpopulation. En *Environmental Issues Surrounding Human Overpopulation*. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-1683-5>
- UNACEM. (2018). Reporte de Sostenibilidad 2018. Recuperado de https://www.unacem.com.pe/wpcontent/uploads/2019/06/RS_UNACEM_2018_ES.pdf
- UNESCO. (2012). *Programa Hidrológico Internacional (PHI), octava fase, Seguridad hídrica: respuestas a los desafíos locales, regionales y mundiales: plan estratégico, PHI-VIII (2014-2021)*. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000218061_spa
- World Business Council For Sustainable Development. (2015). *USER GUIDE What is the Global Water Tool? How to use it?* Recuperado de www.wbcsd.org/work-program/sector-projects/water/global-water-tool.aspx
- World Business Council For Sustainable Development. (2018). *CEO Guide to Water*. Recuperado de http://docs.wbcsd.org/2018/03/CEO_Guide_to_Water.pdf

World Economic Forum. (2019). *The Global Risks Report 2019, 14th Edition*. Recuperado de <http://wef.ch/risks2019>