



Fecha de recibido: 22-06-2021  
Fecha de aceptado: 11-02-2022



## ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE PERDIDAS COMERCIALES EN EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIO DE ACUEDUCTO

## ANALYSIS OF THE REDUCING COMMERCIAL LOSSES IN SERVICE LENDERS COMPANIES OF AQUEDUCT

Jhon Jairo Solarte Bejarano

Estudiante de la Especialización de Gerencia de Proyectos, UNICATOLICA

<https://orcid.org/0000-0002-3056-7898>

[jjsolarteb@unal.edu.co](mailto:jjsolarteb@unal.edu.co)

Héctor Andrés Hernández

Docente Maestría en Gerencia de Proyectos, UNAD

<https://orcid.org/0000-0002-8925-3009>

[Hector.hernandez@unad.edu.co](mailto:Hector.hernandez@unad.edu.co)

Citación: Solarte, J. y Hernández, H. (2022). Análisis de la reducción de pérdidas comerciales en empresas prestadoras de servicio de acueducto.

*Agricolae & Habitat*, 5(1), 7 - 37. <https://doi.org/10.22490/26653176.4834>

# RESUMEN

**Contextualización:** La reducción de las pérdidas comerciales se ha convertido en un reto para las Empresas de Servicio Público (ESP) de acueducto. Estas pérdidas son un componente clave del agua no facturada (ANF). El volumen global del ANF es de 126 billones de metros cúbicos por año, representando pérdidas de USD 39 mil millones por año. Las pérdidas comerciales son las pérdidas de agua no físicas que, por temas no controlados por las empresas como los fraudes clandestinos y la inexactitud de la medición, no se logran facturar unos volúmenes de agua producidos y consumidos por los clientes. Estas pérdidas no son calculadas con precisión por las ESP, utilizando valores predeterminados o reglas empíricas, lo que incluye un grado de error en la cantidad de consumo de los clientes.

**Vacío de conocimiento:** Con este artículo, se pretende aportar al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico como a los diferentes entes reguladores, una metodología que permita cuantificar y analizar las pérdidas comerciales en las EPS de acueducto, con el fin de seleccionar la estrategia más adecuada para la reducción de estas pérdidas.

**Propósito:** El objetivo de este estudio se enfoca en analizar cada uno de los factores o causas de las pérdidas comerciales,

además, las estrategias o métodos utilizados por diferentes autores para la reducción de estas pérdidas, desde el contexto internacional y nacional.

**Metodología:** Para ello, se elaboró un estado del arte utilizando fuentes primarias y secundarias como estudios y artículos de investigación publicados a un año superior del 2011 en revistas indexadas relacionados con las estrategias o métodos utilizados por diferentes autores para reducir las pérdidas comerciales.

**Resultados y conclusiones:** Los resultados presentados, se evidencia el valor excesivo de agua no facturada en términos de volumen a nivel global. En el contexto internacional, se encontraron estudios que muestran métodos para la cuantificación de las pérdidas comerciales y estrategias para la reducción de estas. No obstante, en Colombia no se evidencian estudios de cuantificación de las pérdidas comerciales siendo una limitante para seleccionar la estrategia apropiada para el factor que contribuye a estas pérdidas. Este mismo problema se presenta con mayor fuerza en los países en desarrollo.

**Palabras clave:** acueducto; agua no facturada; medición del agua; pérdidas de agua.

# ABSTRACT

**Contextualization:** Reducing commercial losses has become a challenge for Aqueduct Public Service Companies (APSC). These losses are a key component of non-revenue water (NRW). The overall volume of NRW is 126 billion cubic meters per year, representing losses of USD 39 billion per year. Commercial losses are non-physical water losses that, due to issues not controlled by the companies such as clandestine fraud and inaccurate metering, fail to bill for volumes of water produced and consumed by customers. These losses are not calculated accurately by the APSC, using predetermined values or empirical rules, which includes a degree of error in the amount of consumption by customers.

**Knowledge gap:** The purpose of this article is to provide the Potable Water and Basic Sanitation Sector and the different regulatory entities with a methodology to quantify and analyse commercial losses in the water supply APSC, in order to select the most appropriate strategy for the reduction of these losses.

**Purpose:** The objective of this study focuses on analysing each of the factors or causes of commercial losses, as well as

the strategies or methods used by different authors for the reduction of these losses, from the international and national context.

**Methodology:** For this purpose, a state of the art was elaborated using primary and secondary sources such as studies and research articles published a year ahead of 2011 in indexed journals related to the strategies or methods used by different authors to reduce commercial losses.

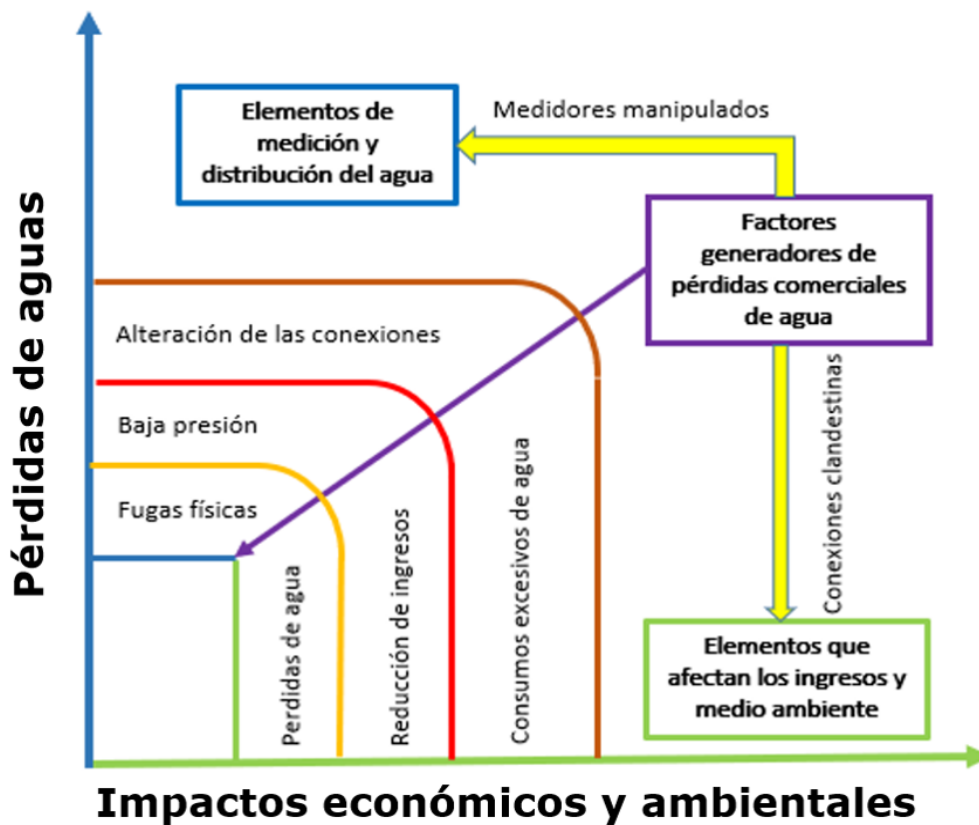
**Results and conclusions:** The results presented show the excessive value of non-revenue water in terms of volume worldwide. In the international context, studies were found that show methods for quantifying commercial losses and strategies for their reduction. However, in Colombia there is no evidence of studies on the quantification of commercial losses, which is a limitation for selecting the appropriate strategy for the factor contributing to these losses. This same problem is more frequent in developing countries.

**Keywords:** aqueduct; non-revenue water; water metering; water losses.

# RESUMEN GRÁFICO

Como resultado del análisis de la reducción de pérdidas comerciales en empresas prestadoras de servicio de acueducto, la figura 1 representa la relación que existe entre las variables.

► **Figura 1.** Análisis gráfico de la construcción de vías terrestres e impactos ambientales



**Nota:** Figura sobre análisis de pérdidas de aguas e impactos económicos y ambientales.

**Fuente:** Autores.

# 1. INTRODUCCIÓN

El reto de las empresas prestadoras del servicio (ESP) de acueducto a nivel global se centra en las pérdidas de agua. Lo cual, trae grandes impactos económicos y ambientales. Es por esto que las agencias reguladoras han buscado establecer objetivos de desempeño para las empresas de agua, con el fin de reducir el desperdicio de recursos naturales y lograr un mejor desempeño en la gestión (Silva et al., 2016).

Las pérdidas de agua en las ESP de acueducto son un componente del agua no facturada (ANF) y se dividen en dos grupos: pérdidas reales o técnicas y pérdidas aparentes o comerciales. Las pérdidas reales comprenden fugas físicas en tuberías, conexiones de servicio o depósitos, así como otras pérdidas que se producen durante grandes explosiones de tuberías de corta duración (Arregui et al., 2018). Las pérdidas comerciales provienen de aquellos factores que inciden directa o indirectamente para que un volumen de agua no sea contabilizado y por ende no se le facture al usuario. En otras palabras, las pérdidas reales suelen ser más importantes en términos de volumen y las pérdidas comerciales se relaciona en términos de costo para la empresa.

Las pérdidas comerciales representan alrededor del 20% de las pérdidas totales

de agua (Rimeika y Albrektienė, 2017), otros estudios indican que pueden ser hasta el 30% (Arregui et al., 2018). Éstas figuran una pérdida directa de ingresos para la empresa prestadora de acueducto (Kingsley et al., 2017). Por ejemplo, en Lituania solo siete empresas de agua en ese país tienen una facturación anual superior a los 4 millones de euros, mientras que las otras, alrededor de 50 empresas, son financieramente débiles (Rimeika y Albrektienė, 2017). Sin embargo, este problema es más pronunciado en las ESP de acueducto de los países en desarrollo, pues se pierden unos 3.000 millones de dólares anuales de ingresos (Mutikanga et al., 2011).

Por lo anterior, el presente artículo tiene como objetivo, analizar cada uno de los factores o causas de las pérdidas comerciales, además, las estrategias o métodos utilizados por diferentes autores para la reducción de estas pérdidas, desde el contexto internacional y nacional. Desde el punto de vista metodológico, se elaboró un estado del arte utilizando fuentes primarias y secundarias como estudios y artículos de investigación publicados en revistas indexadas relacionados con el tema de investigación.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente artículo es de carácter formativo El presente artículo es de carácter formativo con un enfoque cualitativo, dado que implicó el rastreo, organización, sistematización y análisis de un conjunto de estudios y artículos de investigación escritos por autores con rigor científico y académico. Se logró analizar, en un contexto internacional y nacional, qué estrategias o métodos utilizan estos autores para reducir las pérdidas comerciales, debido a que estas tienen implicaciones financieras en las ESP de acueducto.

Las bases de datos utilizadas para la búsqueda de la información fueron: 1Findr, Scielo.org, Redalyc.org, Science direct, Google Académico, entre otros.

Como estrategia de búsqueda, se creó una base de datos en Excel, con los siguientes campos: motor de búsqueda, palabras utilizadas, títulos de artículos científicos, autor/ autores, año, revista.

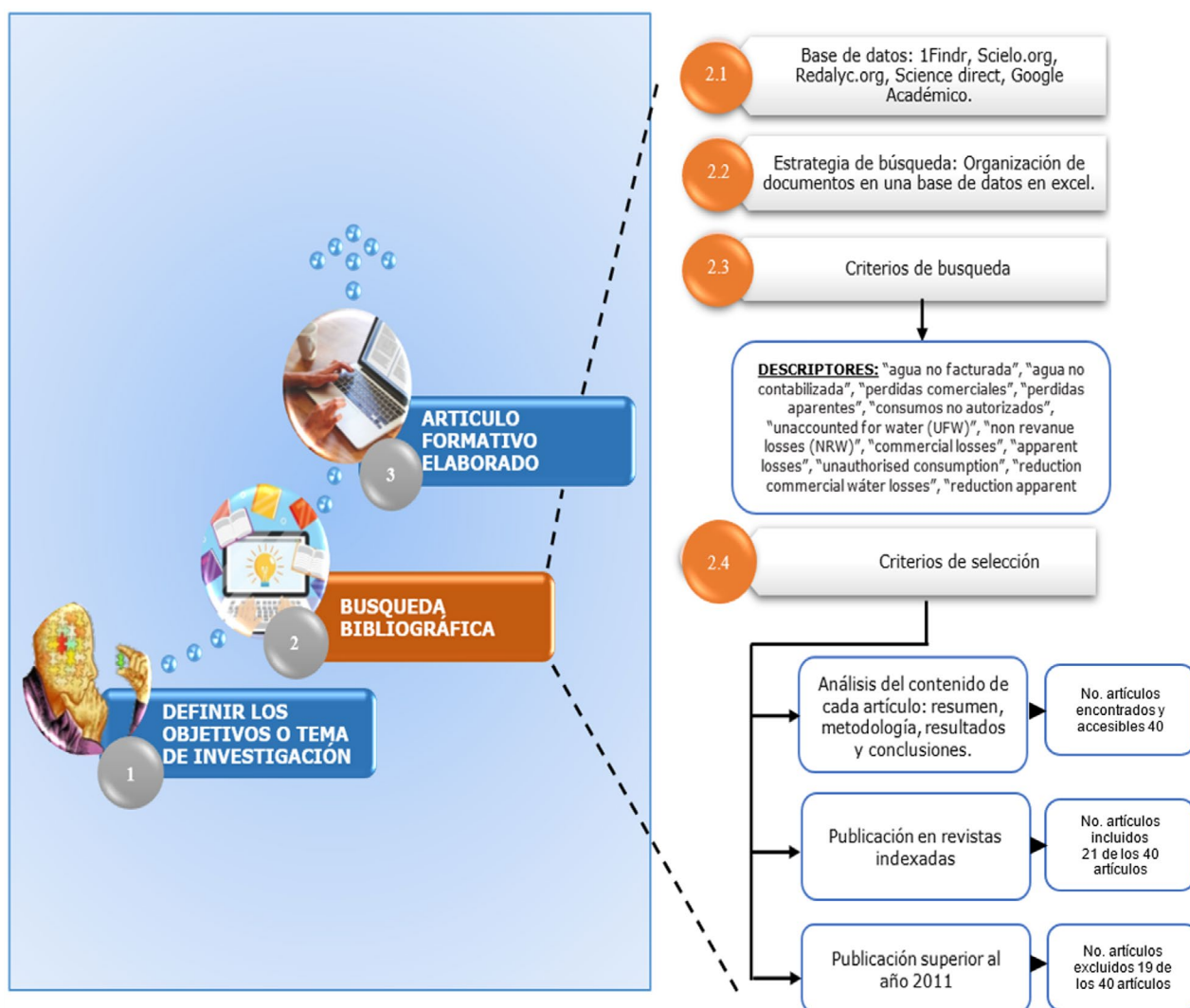
Una vez seleccionada las bases de datos, se eligieron los descriptores o palabras clave. Como criterios de búsqueda, se incluyeron los siguientes descriptores: “agua no facturada”, “agua no contabilizada”, “perdidas comerciales”, “perdidas aparentes”, “consumos no autoriza-

dos”, “unaccounted for water (UFW)”, “non revenue losses (NRW)”, “commercial losses”, “apparent losses”, “unauthorised consumption”, “reduction commercial wáter losses”, “reduction apparent wáter losses”.

Posteriormente, se preseleccionaron cuarenta (40) artículos. Finalmente se analizó el resumen, metodología, resultados y conclusiones de cada artículo que hacía alusión a los núcleos temáticos de la investigación. Además, se priorizaron sobre aquellos artículos que se encontraban publicados en revistas indexadas y a un año superior del 2011. Como resultado se seleccionaron veintiún (21) artículos. Los diecinueve (19) artículos se excluyeron porque cumplieron su caducidad para el análisis de la medición de las pérdidas comerciales, además, de los mecanismos empleados de ese entonces a hoy, han tenido una evolución por uso de nuevas herramientas tecnológicas que contribuyen al análisis de las fuentes bibliográficas consultas y tenidas en cuenta para este estudio.

A continuación, en la figura 2 se indica el proceso de la metodología aplicada en construcción del artículo.

► **Figura 2.** Proceso de la metodología aplicada en la construcción del artículo



**Nota:** Metodología aplicada para el análisis de pérdidas de aguas.

**Fuente:** autores.



## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Las pérdidas de agua. Un Problema Global

Según el estudio técnico titulado “Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures” publicado por la Asociación Internacional del Agua (IWA, por su sigla en inglés) el agua no facturada es la diferencia entre el agua que ingresa al sistema y el consumo autorizado facturado (Lambert & Hirner, 2000). Los componentes del agua no facturada son: consumo autorizado no facturado (normalmente un componente menor del balance hídrico) y las pérdidas de agua (Farok, 2017).

Las pérdidas de agua se dividen en dos grupos: pérdidas reales o técnicas y pérdidas aparentes o comerciales, donde las primeras consisten en pérdidas físicas (fugas) y desbordes de los reservorios (Mutikanga et al., 2011). Por otra parte, las pérdidas comerciales son principalmente

el resultado de la baja precisión de la medición del volumen de agua que fluye y la no simultaneidad de las lecturas de los dispositivos que registran la cantidad de agua suministrada al sistema (medidor de agua principal) y consumida por los receptores (Gwoździej-Mazur, 2017). En este contexto, un metro cúbico perdido en una tubería es igual a la suma de los costos de producción y distribución; por el contrario, un metro cúbico consumido por un usuario, pero no medido reduce los ingresos de recaudo para la empresa.

Dado lo anterior, es determinante que las empresas calculen el volumen de las pérdidas de agua generadas en su sistema. En efecto, IWA estableció un balance hídrico (tabla 1) como metodología para calcular las pérdidas de agua. Según esta metodología, generalmente en los sistemas de distribución de agua potable se presentan una mayor magnitud en las pérdidas reales (Ríos Canto et al., 2014).



■ **Tabla 1.** Balance hídrico – IWA

Volumen a la entrada del sistema m <sup>3</sup> /año	Consumo autorizado m <sup>3</sup> /año	Consumo autorizado facturado m <sup>3</sup> /año	Consumo facturado medido	Agua Facturada m <sup>3</sup> /año	
		Consumo autorizado no facturado m <sup>3</sup> /año	Consumo facturado no medido	Consumo no facturado medido	Agua No Facturada m <sup>3</sup> /año
	Pérdidas de agua m <sup>3</sup> /año	Pérdidas aparentes (comerciales) m <sup>3</sup> /año	Consumo no facturado no medido	Consumo no autorizado	
		Pérdidas reales (técnicas) m <sup>3</sup> /año	Inexactitud de la medición	Fugas en tuberías de conducción y en redes principales de distribución	
Fugas y desbordamiento entanques de almacenamiento			Fugas en acometidas		

Nota: Tomado de “Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures”, por A. Lambert & W.Hirner, 2000, International Water Association, p.5. <https://waterfund.go.ke/watersource/Downloads/001.%20Losses%20from%20water%20supply%20systems.pdf>

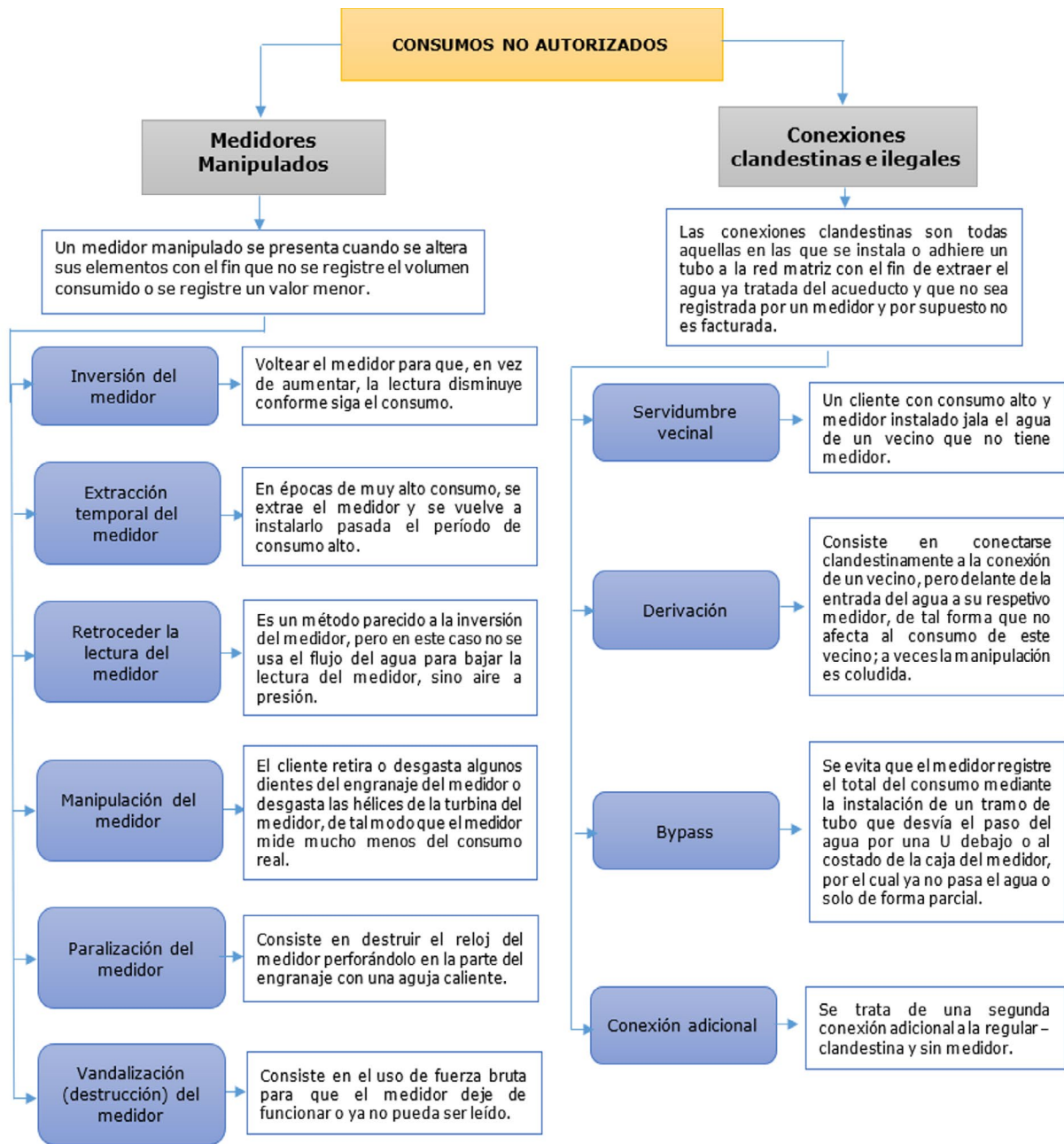
En el caso de las pérdidas comerciales, como un componente clave del agua no facturada, pueden llegar hasta el 30% de las pérdidas totales en términos de volumen, figurando un gran impacto financiero en las ESP de acueducto. Por esta razón, es importante que las empresas cuantifiquen y conozcan las causas de estas pérdidas, con el fin de diseñar políticas o estrategias efectivas de reducción y control de las pérdidas comerciales, convirtiéndose en un aspecto crucial de la gestión técnica de cualquier empresa de agua moderna (Arregui et al., 2018).

En la literatura se encontró diferentes causas o factores generadores de las pérdidas comerciales de agua. Si bien, toda ella tiene en común la división de dos

grandes grupos de pérdidas comerciales, una de ella son los consumos no autorizados (acciones fraudulentas) y la segunda por la inexactitud de la medición (submedición).

Los consumos no autorizados son aquellos en las cuales se altera de forma directa los elementos disponibles por el acueducto para la medición y distribución del agua, es decir quienes alteran las conexiones de manera clandestina o quienes alteran los equipos del acueducto para que no se registre el consumo. Ziemendorff (2017) realizó una clasificación detallada de los consumos no autorizados (figura 4).

► **Figura 4.** Clasificación de los consumos no autorizados.

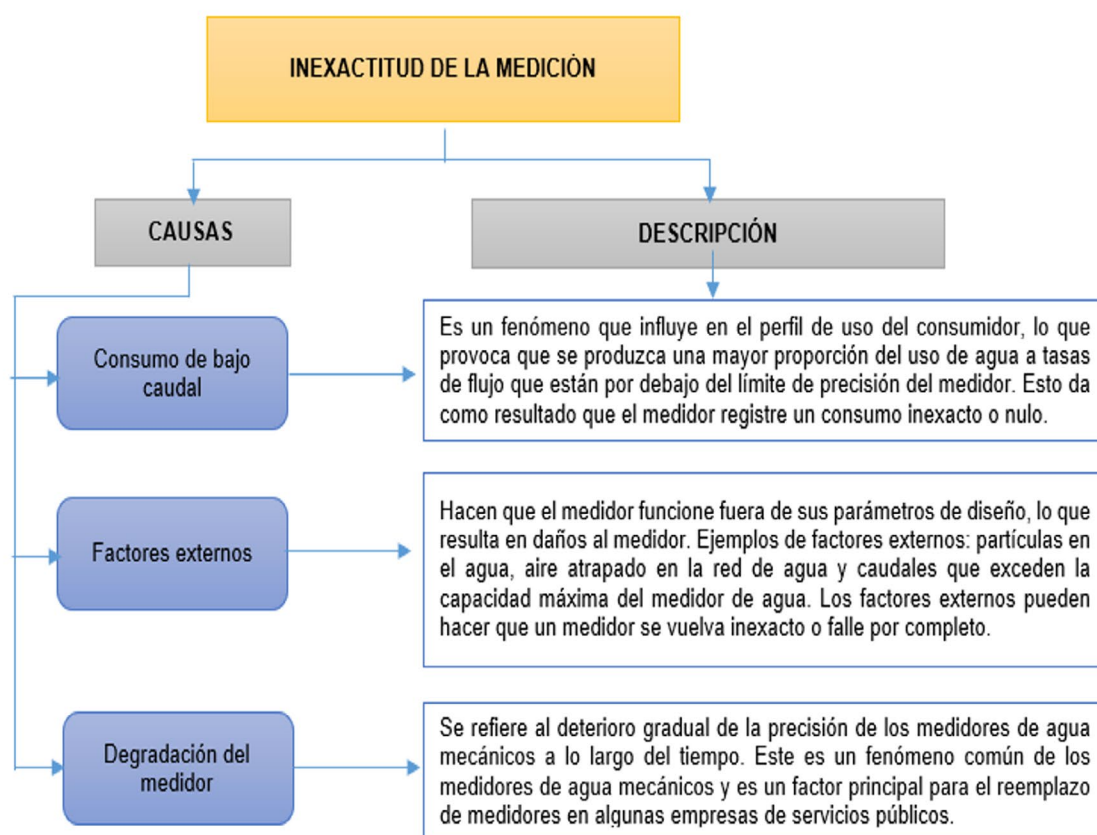


**Nota:** Clasificación de los consumos. **Fuente:** Autores.

Con respecto a la inexactitud de la medición se ha descubierto que son el mayor contribuyente a las pérdidas comerciales y, por lo tanto, han sido el tema de la mayoría de las investigaciones (Ncube y

Taigbenu, 2019). Según estudio realizado por Fourie et al. (2020) hay tres causas principales por las que un medidor registra incorrectamente el agua que fluye a través de él (figura 5).

► **Figura 5.** Causas de la inexactitud de la medición.



**Nota:** Causas de inexactitud en los consumos. **Fuente:** Autores.

Como resultado, el volumen global del agua no facturada es de 346 millones de metros cúbicos por día o 126 billones de metros cúbicos por año (tabla 2), con un

valor conservador de USD 0,31 por metro cúbico, el costo / valor del agua perdida asciende a USD 39 mil millones por año (Liemberger y Wyat, 2019).

■ **Tabla 2.** Volumen de agua no facturada (ANF) y costo / valor por región.

Regiones	Volumen de ANF (Millón m <sup>3</sup> /día)	Volumen de ANF (Billón m <sup>3</sup> /año)	Nivel promedio de ANF Litros/cápita/día	Costo / valor de ANF mil millones USD / año
África Sub-sahariana	14,1	5,2	64	1,4
Australia y Nueva Zelanda	1,0	0,3	36	0,1
Cáucaso y Asia central	8,0	2,9	152	0,8
Este de Asia	53,0	19,3	42	6,2
Europa	26,8	9,8	50	3,4
Latinoamérica y Caribe	69,5	25,4	121	8,0
Medio Oriente y África del Norte	41,2	15,0	96	4,8
Islas del Pacífico	0,5	0,2	211	0,1
Rusia, Ucrania, Bielorrusia	9,5	3,5	65	1,1
Sur de Asia	63,4	23,2	93	6,0
Sudeste de Asia	18,4	6,7	81	2,0
Estados Unidos y Canadá	40,7	14,8	119	5,7
Total	346	126	77	39

**Nota:** Se evidencia un valor excesivo de agua no facturada en términos de volumen a nivel global. La enorme cantidad de agua perdida por fugas en las redes de distribución urbana de agua (pérdidas físicas o reales de agua), los volúmenes de agua distribuidos sin facturación (pérdidas de agua comerciales) y el consumo autorizado no facturado, constituyen el agua no facturada y son los elementos que complican la situación de suministro de agua, especialmente en los países en desarrollo y en transición. Por ejemplo, la región de Latinoamérica y Caribe presenta los mayores volúmenes de ANF (25,4 billones m<sup>3</sup>/año), luego el sur de Asia (23,2 billones m<sup>3</sup>/año) y finalmente la región del este de Asia (19,3 billones m<sup>3</sup>/año). Estas pérdidas del recurso más valioso del mundo tienen consecuencias financieras considerables. Los fondos se gastan en aumentar la producción de agua para compensar las pérdidas, cuando podrían invertirse en mantener o ampliar la infraestructura existente. Por tal motivo, la reducción de la pérdida de agua es un aspecto importante de los proyectos de desarrollo. Tomado de “Quantifying the global non-revenue water problem,” por R. Liemberger y A. Wyatt, 2019, *Water Supply*, 19(3), p. 834 (<https://doi.org/10.2166/ws.2018.129>).

### 3.2 Pérdidas comerciales de agua. Contexto Internacional

En el estudio realizado por Morote y Hernández-Hernández (2018) en la ciudad de Alicante (España), se determinó que los fraudes más frecuentes son las conexiones ilegales y la manipulación de contadores y, en relación con la distribución, el 75% corresponde a usuarios do-

mésticos y el resto a usuarios comerciales e industriales. En el periodo de 2005 - 2017, la empresa Aguas Municipalizadas de Alicante (AMAEM) registró un total de 2207 fraudes para el sector doméstico, siendo los años 2013 y 2014 en los que más fraudes se registraron (con 377 y 378 fraudes, respectivamente).

Acerca del cálculo de las pérdidas comerciales de agua por la submedición,

se utilizan varios métodos, entre estos el método empírico el cual es llevado a cabo en un laboratorio de prueba de medidores acreditado. El estudio de Ncube y Taigbenu (2019) realizado en la ciudad de Johannesburgo (Sudáfrica), utilizando el método empírico, se estimó que las pérdidas comerciales tienen un valor promedio del 12% del volumen facturado con un rango de 9.4% a 14.6% que depende de las proporciones del tamaño del medidor, lo que equivale a 2.032.192 y 3.145.573 km/mes, respectivamente, esto equivale a entre 16,8 millones de ZAR/mes y 26 millones de ZAR/mes. Por otro lado, el estudio realizado por Couvelis y Van Zyl (2015) en Ciudad de Cabo y Mangaung (Sudáfrica), se concluyó que las pérdidas comerciales debido a la submedición de medidores de agua son alrededor del 5% (2.2% por subregistro de medidores debido a fugas in situ y 2.6% por envejecimiento del medidor) del consumo de los consumidores domésticos.

Para determinar el efecto de la edad del medidor y el volumen total registrado en la precisión del medidor, Moahloli et al. (2019), realizaron un estudio en un municipio de Sudáfrica donde concluyeron que existe una relación entre la antigüedad y la precisión del medidor de agua, así como entre el volumen total registrado y la precisión del medidor. Este estudio también determinó que el volumen de pérdidas comerciales de agua causadas por inexactitudes en los medidores de agua domésticos debido a la antigüedad y el volumen total registrado para

este municipio en particular es de 1.814 km /mes, lo que se traduce en un 2.81% del volumen total de entrada del sistema del municipio, siendo muy cercano a los hallazgos de Couvelis y Van Zy (2015) en relación al 2.6% por envejecimiento del medidor. El estudio también determinó que el período óptimo de reemplazo de medidores de agua del municipio es para edades de medidores de agua de 9, 12 y 16 años y volúmenes totales registrados de 3971, 5162 y 6750 km.

Aunque, un estudio más reciente realizado en Gauteng (Sudáfrica), se encontró una relación débil entre la edad y la precisión de un medidor residencial tipo volumétrico (Clase C) y de velocidad (Clase B), obteniéndose un  $R^2$  de 0.16 y 0.11, respectivamente. Este resultado indica que la edad no debe usarse como un factor para el reemplazo del medidor, ya que solo tiene una pequeña influencia en la precisión de los medidores de velocidad y volumétricos instalados. En cambio, se estableció una fuerte relación entre el volumen acumulado y la precisión del medidor para medidores de velocidad ( $R^2 = 0,54$ ). Este resultado confirma que, en medidores residenciales de velocidad, el volumen acumulado es un indicador de precisión más confiable que la edad (Fourie et al, 2020).

Ahora bien, de acuerdo con las causas y/o factores de las pérdidas comerciales de agua, en la tabla 3 se indican las estrategias o métodos utilizados por diferentes autores para disminuir las pérdidas comerciales.

■ **Tabla 3.** Estrategias o métodos por diferentes autores para la reducción de pérdidas comerciales.

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de la pérdida comercial	Estrategia o método
Ziemendorff et al., 2017	Paita y Talara, Perú	Consumos no autorizados – Medidores manipulados	<p>A) Analizaron la casuística de las manipulaciones de medidores, usando la información del banco de medidores de la ESP Grau S.A.</p> <p>B) Realizaron la clasificación de los casos analizados por tipo de manipulación.</p> <p>C) Identificaron los puntos vulnerables del medidor.</p> <p>D) Analizaron la frecuencia de cada tipo de manipulación en Paita y Talara.</p> <p>E) Analizaron los dispositivos de seguridad disponibles en cuanto a la protección que brindan a los diferentes puntos vulnerables identificados.</p> <p>F) Identificaron la necesidad de desarrollar dispositivos de seguridad más integrales.</p> <p>G) Desarrollaron dos prototipos de seguridad del medidor.</p>
Ziemendorff, 2017	Moquegua, Perú	Consumos no autorizados – Conexiones Clandestinas	<p>Se realizó un proyecto piloto en Moquegua, Perú usando el sistema COMBIHON (método usado en Alemania) usando dos tipos de osciladores: Striker y el Stopper, para la ubicación de conexiones clandestinas (tuberías) mediante tecnología acústica.</p>
Morote & Hernández-Hernández, 2018	Alicante, España	Consumos no autorizados	<p>A) Utilizaron los datos proporcionados por AMAEM (empresa prestadora de Alicante) sobre el número de acciones de consumo doméstico no autorizado detectadas para el período 2005-2017, diferenciando entre tipologías de desarrollo urbano (compacto y baja densidad) y ubicación geográfica (Distrito Norte, Zona de Playa, Núcleo urbano y distrito rural)</p> <p>B) Realizaron entrevistas al personal de AMAEM con el fin de identificar las causas del consumo no autorizado en Alicante.</p> <p>C) Analizaron y evaluaron las medidas adoptadas por la empresa prestadora para detectar y combatir el consumo no autorizado.</p>

■ **Tabla 3.** Estrategias o métodos por diferentes autores para la reducción de pérdidas comerciales (Continuación).

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de la pérdida comercial	Estrategia o método
Silva et al., 2016	Itabira, Brasil	Inexactitud en la medición	Reemplazaron los medidores de agua metrológicos Clase B por medidores de agua metrológicos Clase C en un condominio que contaba con 83 acometidas de agua activas provistas de medidores de agua en funcionamiento regular. De estas conexiones, 73 eran de edificios residenciales, 5 de edificios comerciales y las otras 5 eran de responsabilidad del condominio y correspondían a consumos como el relacionado con la caseta de vigilancia y el riego de áreas verdes comunes.
Rimeika y Albrektienė, 2017	Lituania	Inexactitud en la medición	Reemplazaron los medidores de agua metrológicos Clase B por medidores de agua metrológicos Clase C en diferentes viviendas de Lituania.
Moahloli et al., 2019	Sudáfrica	Inexactitud en la medición	Analizaron una base de datos de gestión de medidores de agua utilizando el método de error relativo del medidor para determinar si existe una relación entre la antigüedad del medidor de agua doméstico, el volumen total registrado y la precisión, así como el volumen de pérdidas comerciales de agua causadas por inexactitudes debido a la antigüedad del medidor de agua doméstico y volumen total registrado.
Fourie et al., 2020	Gauteng, Sudáfrica	Inexactitud en la medición	Evaluaron el rendimiento de 200 medidores residenciales de dos tecnologías diferentes comúnmente utilizadas en Gauteng, Sudáfrica, medidores de velocidad (Clase B) y medidores volumétricos (Clase C). La evaluación la realizaron mediante pruebas empíricas de medidores en un laboratorio acreditado y la evaluación de la precisión de degradación de cada tecnología de medidores en función de la antigüedad y el volumen.

**Nota:** Análisis de diferentes autores en la reducción de las pérdidas de consumo de agua.

**Fuente:** Autores.

Con las diferentes estrategias indicadas en la tabla 3 para la reducción de pérdidas comerciales, en la tabla 4 se descri-

ben los principales resultados por cada uno de los estudios realizados.

■ **Tabla 4.** Resultados de las estrategias para la reducción de pérdidas comerciales.

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de las pérdidas comerciales	Principales resultados
Ziemen-dorff et al., 2017	Paita y Talara, Perú	Consumos no autorizados – Medidores ma-nipulados	<p>A) Entre 2008 y 2016 se registraron en el banco de medidores de ESP Grau 1.563 casos de manipulación de medidores provenientes de Paita y Talara, de las cuales el 29% correspondía por Manipulación no visible, donde el consumidor retira o desgasta algunos dientes del engranaje del registro del medidor, de modo que el medidor mida un consumo mucho menor que el real.</p> <p>B) Teniendo en cuenta los puntos vulnerables del medidor, se realizó una descripción de los dispositivos de seguridad como el Anclaje Tipo Copa, Anclaje Tipo Culpo, Anclaje Tipo Gauss (siendo el más utilizado), entre otros, encontrándose que ninguno protege simultáneamente los 6 puntos vulnerables del medidor.</p> <p>C) Por lo anterior, desarrollaron dos prototipos de seguridad: “Dispositivo cilíndrico” y “Dispositivo cuadrado” que permitían proteger el medidor en todos los puntos vulnerables previamente identificados en campo.</p>
Ziemen-dorff et al., 2017	Moquegua, Perú	Consumos no autorizados – Conexiones Clandestinas	<p>El sistema está compuesto por la unidad de control central y un generador, así como dos tipos de osciladores, de los cuales solo se usa uno a la vez: el Striker y el Stopper. El Striker somete las tuberías a vibraciones al golpearlas desde afuera, como si se tratara de un martillo eléctrico. El Stopper genera una onda de presión dentro de la tubería al abrir y cerrarse rápidamente.</p> <p>La búsqueda de conexiones clandestinas usando el Striker y Stopper funcionó correctamente. Cada uno de estos equipos tienen sus alcances y límites.</p>



**Tabla 4.** Resultados de las estrategias para la reducción de pérdidas comerciales (Continuación).

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de las pérdidas comerciales	Principales resultados
Morote y Hernández Hernández, 2018	Alicante, España	Consumos no autorizados	<p>A) Desde 2005, se registraron un total de 2.207 fraudes para el sector doméstico; la mayoría (83%) se concentró en el modelo de desarrollo urbano compacto. En relación a la ubicación geográfica, el mayor porcentaje de consumo no autorizado se detectó en el Distrito Norte (70% para el período 2005-2017).</p> <p>B) Las causas del consumo no autorizado en Alicante fueron: Crisis Económica (2008), aumento del precio del agua, ingresos económicos, sequías, elevados consumos de agua.</p> <p>C) Las medidas adaptadas por la empresa prestadora para detectar y combatir el consumo no autorizado fueron: puesta en marcha del Plan de Lectura Remota de contadores. Con estos nuevos dispositivos, los técnicos pueden detectar cualquier anomalía (fuga, avería o consumo no autorizado) prácticamente en tiempo real, desde la sala de control de AMAEM y a ello se puede seguir con una inspección in situ por parte de los técnicos. Es decir, a través de este plan la empresa detectó más consumos autorizados que antes de su implementación.</p>
Silva et al., 2016	Itabira, Brasil	Inexactitud en la medición	<p>Las pérdidas de agua promedio de los condominios fueron de 18.9% y 1.4% cuando la micro medición se realizó con medidores de clases metrológicas B y C, respectivamente. Es decir, en este caso de estudio, el hecho de reemplazar estos equipos resultó en una reducción del 45% de las pérdidas de agua (reducción del subregistro, uno de los componentes de las pérdidas de agua).</p> <p>El nuevo contador de agua Clase C registró un 8.5% más del volumen consumido que los contadores Clase B en uso.</p>

■ **Tabla 4.** Resultados de las estrategias para la reducción de pérdidas comerciales (Continuación).

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de las pérdidas comerciales	Principales resultados
Rimeika y Albrek-tienė, 2017	Lituania	Inexactitud en la medición	La diferencia relativa entre las lecturas de los medidores montados secuencialmente de los medidores de Clase C y B varía del 4% al 18%. Se ha determinado que los medidores de Clase B son ineficientes para medir caudales bajos y, por lo tanto, deben ser reemplazados por medidores de Clase C. La instalación de medidores Clase C en pisos reduciría las pérdidas comerciales de agua en casas privadas y blocaos en más de tres veces y al mismo tiempo aseguraría mayores ingresos para una empresa de prestación del servicio de acueducto.
Moahloli et al., 2019	Sudáfrica	Inexactitud en la medición	El estudio encontró que existe una relación entre la antigüedad y la precisión del medidor de agua, así como entre el volumen total registrado y la precisión. El estudio también determinó que el volumen de pérdidas comerciales de agua causadas por inexactitudes en los medidores de agua domésticos debido a la antigüedad y el volumen total registrado en particular es de 1.814 kL por metro por mes, lo que se traduce en un 2.81% del volumen total de entrada del sistema del municipio. Es por esto que los municipios y las empresas deben calcular el periodo óptimo de reemplazo por la antigüedad de los medidores de agua.
Fourie et al., 2020	Gauteng, Sudáfrica	Inexactitud en la medición	Se encontró una relación débil entre la edad y la precisión de un medidor residencial tipo volumétrico (Clase C) y de velocidad (Clase B). Este resultado indica que la antigüedad de los medidores de Clase C y B no debe usarse como un factor para el reemplazo del medidor. En cambio, se estableció una fuerte relación entre el volumen acumulado y la precisión del medidor para medidores de velocidad. Este resultado confirma que, en medidores residenciales de velocidad (Clase B), el volumen acumulado es un indicador de precisión más confiable que la edad. Estos hallazgos ayudarán a los gerentes de las empresas de servicios de acueducto a predecir la precisión de los medidores e incluir estrategias de reemplazo para los medidores Clase B.

**Nota:** Análisis de estrategias planteadas por diferentes autores en la reducción de las pérdidas de consumo de agua. **Fuente:** Autores.

### 3.3 Pérdidas comerciales de agua. Contexto en Colombia

En Colombia, la Ley 142 de 1994 establece el régimen de servicios públicos domiciliarios. Las empresas prestadoras del servicio de acueducto son reguladas por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA, adscrita al Ministerio de Vivienda. Estas entidades públicas son las encargadas de crear y preservar condiciones para asegurar la prestación de servicios sanitarios.

En el contexto de las pérdidas de agua, se emplea un indicador técnico-operativo denominado Índice de Agua No

Contabilizada (IANC) establecido por la Resolución CRA 287 de 2014 y la Resolución CRA 315 de 2015. El IANC en las empresas de acueducto es un indicador que representa el porcentaje de pérdidas de agua y refleja la eficiencia con la que opera el sistema (González-Gómez, García-Rubio & Guardiola, 2011). En otras palabras, el IANC relaciona la cantidad de agua que cada empresa de acueducto pierde, desde un comparativo entre el agua producida y el agua facturada (Espinosa et al., 2013). Se calcula como la diferencia porcentual entre el volumen de agua no facturado con relación al volumen entregado por las plantas de tratamiento al sistema de acueducto (ecuación 1).

$$\text{IANC} = \frac{(\text{Volumen producido} - \text{Volumen facturado})\text{m}^3}{\text{Volumen producido} (\text{m}^3)} * 100 \quad (1)$$

#### Dónde:

*Volumen producido:* Volumen de agua (m<sup>3</sup>) que la entidad introdujo al sistema de distribución durante los últimos doce (12) meses, medida de la salida de los tanques de almacenamiento, menos desperdicios por mantenimiento.

*Volumen facturado:* volumen de agua (m<sup>3</sup>) que la empresa facturó durante los últimos doce (12) meses.

No obstante, el IANC fue reemplazado por el denominado Indicador de Pérdidas por Usuario Facturado - IPUF, para efectos del cálculo de tarifas según metodología vigente de acuerdo con lo estipulado en la Resolución CRA 688 de 2014. El IPUF representa el volumen de pérdidas de agua por suscriptor, medido en metros cúbicos por suscriptor al mes (m<sup>3</sup>/suscriptor/mes) y se calcula mediante la ecuación 2 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

$$\text{IPUF}_0 = \frac{AS_0 - AF_{0,ac}}{N_{0,ac} * 12} \quad (2)$$

#### Donde:

**IPUF<sub>0</sub>:** Índice de pérdidas por suscriptor facturado en el año base (m<sup>3</sup>/suscriptor/mes).

**AF<sub>0,ac</sub>:** Consumo de agua facturada para el servicio público domiciliario de acueducto en el año base (m<sup>3</sup>/año).

**$N_{0,ac}$ :** Número de suscriptores facturados promedio en el año base para el servicio público domiciliario de acueducto. En el caso de facturación mensual corresponde al promedio de los doce meses del año base. En el caso

de facturación bimestral, corresponde al promedio de los seis bimestres del año base

**$AS_0$ :** Agua potable suministrada en el año base ( $m^3/año$ ). Esta se calcula mediante la siguiente ecuación 3

$$AS_0 = AP_0 + RCSAP_0 - ECSAP_0$$

**$AP_0$ :** Agua producida en el año base ( $m^3/año$ ).

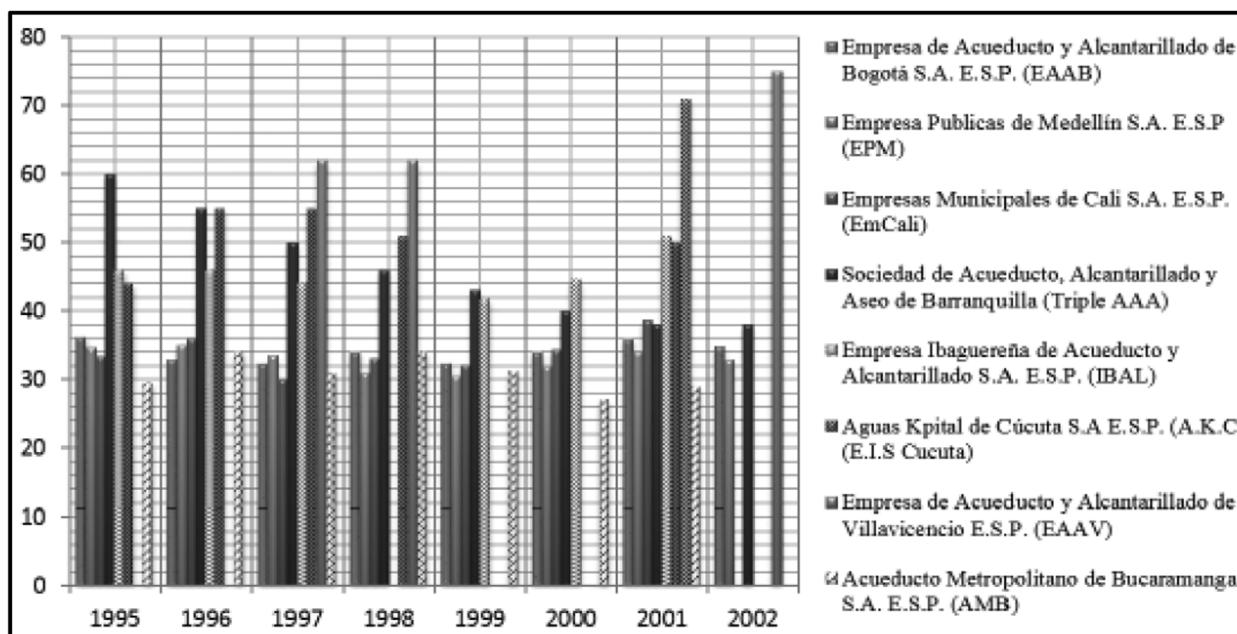
**$ECSAP_0$ :** Volumen entregado por contratos de suministro de agua potable en el año base ( $m^3/año$ ).

**$RCSAP_0$ :** Volumen recibido por contratos de suministro de agua potable en el año base ( $m^3/año$ ).

De todas maneras, el IANC aún es un indicador usado por las empresas que se toma como referente para estimar la eficiencia y rendimiento operativo de un sistema de acueducto, referido también en la Resolución MVCT 330 de 2017. Los resultados del IANC y el IPUF calculados por las empresas de servicios públicos de acueducto, sirven como base para el planteamiento de estrategias para la reducción de pérdidas de agua, ya sean técnicas o comerciales.

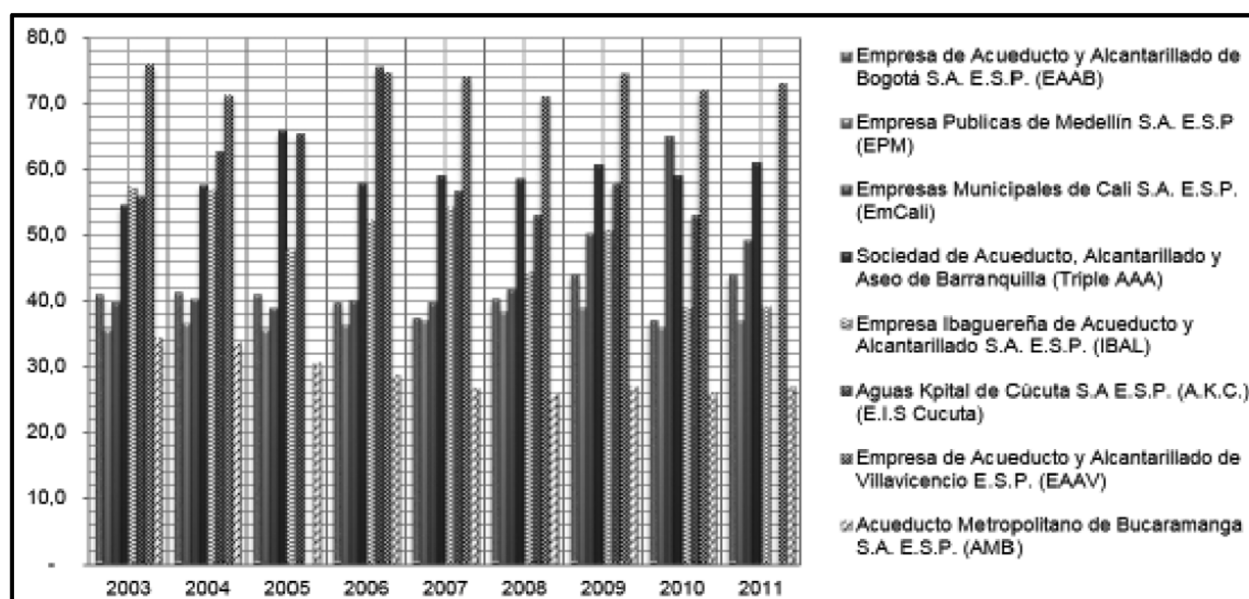
Se resalta, según la normatividad colombiana el valor máximo permisible para el IANC es el 30% y para el IPUF es de 6  $m^3/suscriptor/mes$ . Con relación al cálculo del IANC, Espinosa et al. (2013) realizaron un estudio comparativo del índice de agua no contabilizada en Colombia para el periodo 1995-2011 de ocho (8) empresas seleccionadas con las variables tamaño y pérdidas de agua (figuras 6 y 7).

► **Figura 6.** Índice de agua no contabilizada (IANC): empresas de estudio, 1995-2002.



**Nota:** Tomado de “Estudio comparativo del índice de agua no contabilizada en Colombia para el periodo 1995-2011”, por M.A.G. Espinosa, C.C.V. Yara & M.S.G. Álvarez, 2013, *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 10(1), p. 28. (<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5729>).

► **Figura 7.** Índice de agua no contabilizada (IANC): empresas de estudio, 2003-2011.



**Nota:** Tomado de “Estudio comparativo del índice de agua no contabilizada en Colombia para el periodo 1995-2011”, por M.A.G. Espinosa, C.C.V. Yara & M.S.G. Álvarez, 2013, *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 10(1), p. 29. (<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5729>).

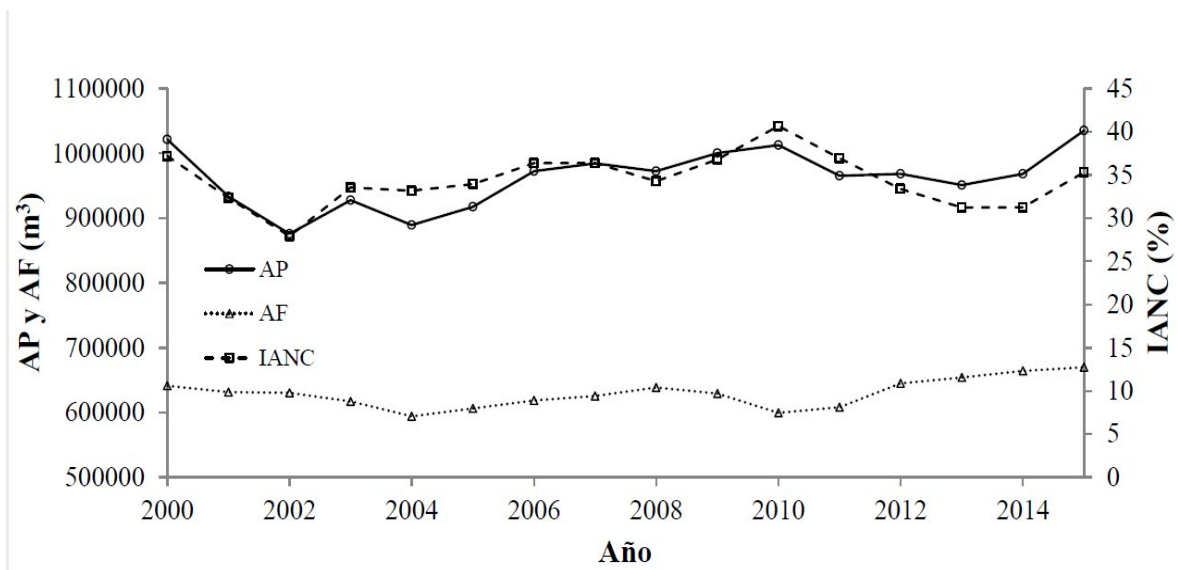
Según las figuras 6 y 7, para el periodo 1995 – 2011, las empresas evaluadas no cumplieron con las exigencias de la normatividad de Colombia, presentando valores de IANC mayores al 30%. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio E.S.P en el año 2002 obtuvo un IANC del 75% siendo la cifra más alta en el periodo de 1995-2002. La Empresa Aguas Kpital de Cúcuta S.A. E.S.P. en el año 2006 presentó un IANC del 75.5%, siendo la cifra más alta en el periodo de 2003 – 2011.

Asimismo, Mosquera et al. (2019), determinó los valores de IANC e IPUF en el periodo 2010 – 2016 para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán,

obteniendo un promedio anual de 39.1% en el IANC y 10.4 m<sup>3</sup>/suscriptor/mes para el IPUF.

En un estudio más reciente, Herrera et al. (2020), realizaron un análisis de agua no facturada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá, Colombia. En promedio mensual, los resultados mostraron que durante todo el periodo de investigación el agua producida (AP) por el sistema de abastecimiento fue de 472.530 m<sup>3</sup>; mientras que el agua facturada (AF) fue de 308.850 m<sup>3</sup> (figura 8). Es decir, el sistema dejó de facturar en promedio por mes 163.680 m<sup>3</sup>, lo cual representó un porcentaje de agua no contabilizada del 34.6 % (IANC).

► **Figura 8.** Variación promedio bimensual del IANC, AP y AF en el sistema de abastecimiento durante la totalidad del periodo de investigación



**Nota:** En el periodo de estudio, el mayor porcentaje de IANC se registró para el año 2010, donde se observa la mayor AP y la menor AF en el sistema. En términos económicos, al relacionar el AP y AF durante todo el periodo de investigación, según los resultados, en promedio se dejaron de contabilizar 29.462.400 m<sup>3</sup>, los cuales representaron una pérdida económica para el sistema de USD 10.606.464 para el año 2015. Tomado de “Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá”, por D.B. Herrera, E.M. Ávila & C.A.Z. Mejía, 2020, *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 24(63), 84-98, p. 90. (<https://doi.org/10.14483/22487638.15333>).

Además, se realizaron comparaciones con otros municipios de Colombia (Tabla del IANC del municipio de Facatativá 4) al igual que el IPUF (Tabla 5).

■ **Tabla 4.** Comparación IANC del Municipio de Facatativá con otros municipios de Colombia.

Indicador	Valor promedio anual por Municipio									
	Facatativá	Soacha	Villavicencio	Sogamoso	Ibagué	Zipaquirá	Gachancipá	Pitalito	Tunja	Mosquera
IANC (%)	34.6	72.3	67	43.6	46.6	48.2	36.7	35.	23.9	21.3

**Nota:** El IANC promedio anual calculado para el municipio de Facatativá estuvo por debajo de otros sistemas de los municipios de: Soacha, Villavicencio, Sogamoso, Ibagué, Zipaquirá, Gachancipá y Pitalito; por el contrario, el IANC anual fue mayor en relación con los siguientes municipios: Tunja y Mosquera. Tomado de “Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá”, por D.B. Herrera, E.M. Ávila & C.A.Z. Mejía, 2020, *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 24(63), 84-98, p. 90. (<https://doi.org/10.14483/22487638.15333>).

■ **Tabla 5.** Comparación IPUF del Municipio de Facatativá con otros municipios de Colombia.

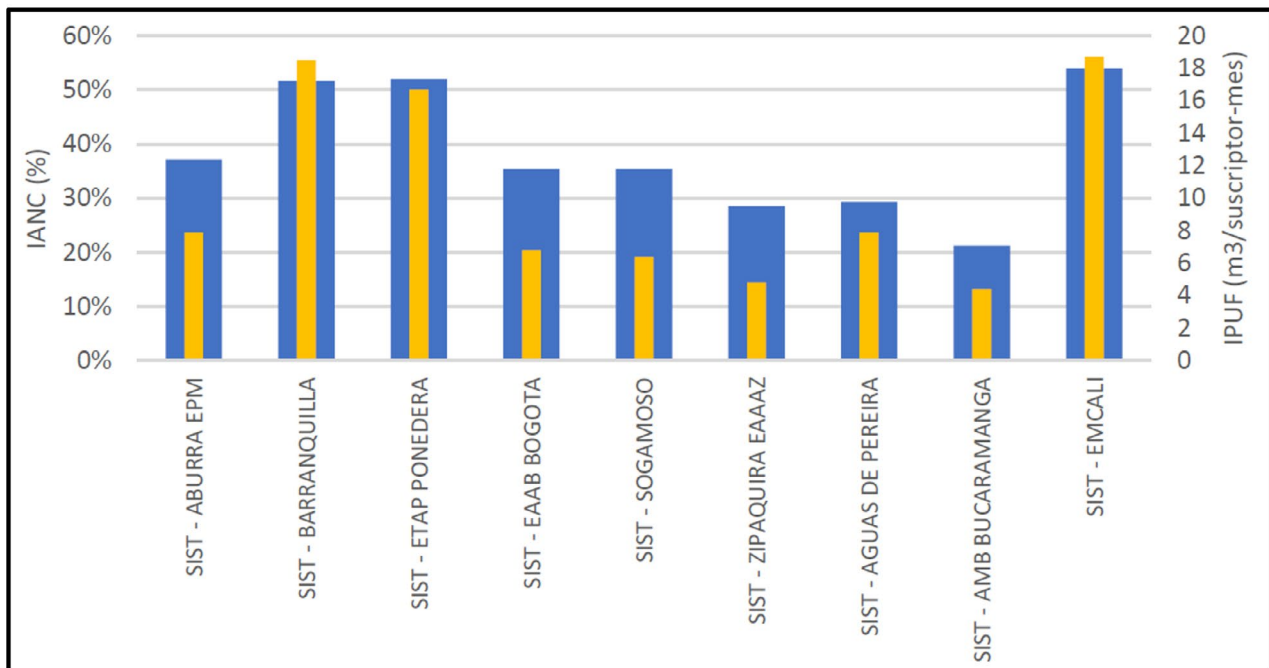
Indicador	Valor promedio anual por Municipio			
	Facatativá	Zipaquirá	Tunja	Mosquera
IPUF(m <sup>3</sup> /suscriptor/mes)	6.16	2.20	4.60	8.70

**Nota:** El IPUF anual calculado para el municipio de Facatativá estuvo por debajo del municipio de Mosquera; por el contrario, el IPUF anual fue mayor en relación con los siguientes municipios: Zipaquirá y Tunja. Tomado de “Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá”, por D.B. Herrera, E.M. Ávila & C.A.Z. Mejía, 2020, *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 24(63), 84-98, p. 91. (<https://doi.org/10.14483/22487638.15333>).

Por otro lado, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) a través del Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado, para el 2019 se estimó un valor promedio nacional del IANC del 40.2%, valor que muestra una ligera tendencia a la disminución con respecto al año 2018, al cual corresponde un valor de IANC de 41.4%. Con relación al IPUF se estableció un valor promedio nacional de 10.4 m<sup>3</sup> /suscriptor – mes, muy por encima del valor máximo establecido por la regulación vigente.

En la figura 9 se muestra los indicadores IANC e IPUF de los sistemas interconectados más grandes respecto a su capacidad de producción de agua potable. Los sistemas interconectados abastecen más de tres áreas de prestación del servicio (APS), a la totalidad de los usuarios o una fracción de los usuarios de los municipios atendidos, ya sea mediante facturación directa o mediante venta de agua en bloque.

► **Figura 9.** Indicadores IANC e IPUF para sistemas interconectados – año 2019.



**Nota:** Los valores van desde 21 hasta 52% (IANC) y valores de 4,4 hasta 18,7 m<sup>3</sup> pérdidas/suscriptor – mes (IPUF). Los Sistemas Interconectados que cumplieron con los valores máximos permisibles de ambos indicadores fueron Zipaquirá EAAAZ y AMB Bucaramanga. Tomado de “Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado”, por SSPD, 2020, p. 32. [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Dic/estudio\\_sectorial\\_de\\_los\\_servicios\\_publicos\\_domiciliarios\\_de\\_acueducto\\_y\\_alcantarillado\\_28\\_dic\\_rev\\_1.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Dic/estudio_sectorial_de_los_servicios_publicos_domiciliarios_de_acueducto_y_alcantarillado_28_dic_rev_1.pdf)

De acuerdo con los estudios anteriores y los reportes de la SSPD (año 2019), en Colombia se presentan altos niveles de IANC e IPUF. Por ende, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) en el año 2014 definió un instrumento de planeación denominado “Plan de Reducción de pérdidas”, el cual se emplea el balance hídrico de IWA para la estimación de las pérdidas de agua.

En el caso de las pérdidas comerciales, está sujeta a un alto grado de incertidumbre. En consecuencia, se deben discriminar en sus componentes para lograr una buena estimación. En primer lugar,

se debe estimar el número de conexiones ilegales. Esto se puede hacer ya sea consultando registros anteriores o realizando muestreos en diferentes sectores del sistema. En segundo lugar, debe estimarse las pérdidas debidas a errores en el manejo de información, así como inexactitudes en la medición. Durante las lecturas de medidores, debe registrarse el número de medidores de agua averiados y hacer estimaciones de los volúmenes perdidos con base en estudios realizados en laboratorios de medidores (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

Sin embargo, Espinosa et al. (2013) resalta que los planes de reducción de pérdi-



das acaban siendo solamente un ítem de cumplimiento por parte de las empresas con las exigencias de la CRA. A partir de la fecha de implementación de dichos planes en las diferentes empresas de Colombia no se evidencia un impacto positivo en lo relacionado con disminución del IANC.

De este modo, se realizó la búsqueda de artículos científicos acerca del cálculo en términos de volumen de las pérdidas comerciales. Como resultado, se encontró que no existe información acerca de esto.

# CONCLUSIONES

A través del análisis realizado a las diferentes fuentes de información se identificó que, en todos los estudios tanto en el contexto internacional como en Colombia, las pérdidas comerciales afectan financieramente las empresas prestadoras de acueducto, siendo este problema más pronunciado en las ESP de acueducto de los países en desarrollo. En el contexto internacional, se evidenció que, gracias a las diferentes metodologías descritas por los autores, se logró cuantificar en términos de volumen cada uno de los factores de las pérdidas comerciales. En efecto, se seleccionó la estrategia adecuada, consiguiendo la reducción de las pérdidas comerciales.

Por lo contrario, en Colombia se evidenció la ausencia de estudios que reúnan y analicen los datos (en términos de volumen) de las pérdidas comerciales que registran las empresas. En ausencia de datos y metodología adecuada, se utilizan valores predeterminados o reglas empíricas, por ejemplo, el consumo no autorizado se calcula como el 0,5% de la entrada total del sistema y el subregistro

de medidores domésticos como el 2% del consumo medido. Esta metodología puede generar datos imprecisos afectando el proceso de control y regulación o las diferentes propuestas o estrategias que se planteen para disminuir estas pérdidas.

En Colombia, las empresas prestadoras del servicio de acueducto podrían emplear alguna de las estrategias mencionadas en la tabla 3, pero la carencia de datos fiables (en términos de volumen) de las pérdidas comerciales, es un limitante para seleccionar la estrategia apropiada para el factor que contribuye a estas pérdidas. Además, no todas las medidas especificadas en la tabla 3 son apropiadas para cada empresa de agua. Por lo tanto, se debe hacer análisis costo/beneficio para los métodos de elección.

Evidentemente, los diferentes entes reguladores deben propiciar estudios que permitan estandarizar una metodología para cuantificar en términos de volumen los distintos componentes de las pérdidas comerciales. Además de establecer una metodología para evaluar el nivel económico de las pérdidas comerciales.



# CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

**P**rimero autor: este documento permite conocer las estrategias o métodos para la reducción de las **pérdidas comerciales** en las ESP de acueducto, desde un contexto internacional y nacional. Segundo autor: En cuanto al análisis de la información que se describe en este artículo a partir de diferentes fuentes consultadas por los investigadores como se evidencia en la literatura, esto conlleva a profundizar en la importancia que tiene el análisis de seguimiento a las pérdidas comerciales por el consumo de agua, en donde

se logre reducir los impactos generados ambiental y económicamente, es decir buscar mecanismos de control para evitar alteraciones o manipulaciones de los medidores como la pérdida excesiva de agua por otras circunstancias asociadas a la distribución del agua. La metodología propuesta por los diferentes autores consultados demuestra que pueden plantearse nuevas alternativas de seguimiento y control aquellos factores que inciden en el consumo excesivo y pérdidas de agua.



# AGRADECIMIENTOS

**E**n primer lugar, quiero agradecer al Ing. Héctor Andrés Hernández quien con su conocimiento, asesoría y aportes me guio a la construcción de las diferentes etapas de este documento. También quiero agradecer a los autores que se citan en este artículo, quienes brindaron una información de alta calidad para el análisis del tema de investigación. A la editorial de la revista por permitir publi-

car este escrito de carácter formativo. A la Empresa Oficial de Servicios Públicos de Yumbo ESPY SA ESP, empresa que actualmente laboro, por financiar el 60% de mi posgrado. Finalmente, quiero agradecer a mis padres Liliana y Jairo por su apoyo incondicional, su constante entrega y motivación en el transcurso de mi especialización.

# REFERENCIAS

- Arregui, F., Cobacho, R., Soriano, J. & Jimenez-Redal, R. (2018). Calculation Proposal for the Economic Level of Apparent Losses (ELAL) in a Water Supply System. *Water (Basel)* 10 (12): 1809. <https://doi.org/10.3390/w10121809>
- Couvelis, FA. & Van Zyl, JE. (2015). Apparent losses due to domestic water meter under-registration in South Africa. *Water SA*, 41(5), 698-704. <https://doi.org/10.4314/wsa.v41i5.13>
- Espinosa, M. A. G., Yara, C. C. V. & Álvarez, M. S. G. (2013). Estudio comparativo del índice de agua no contabilizada en Colombia para el periodo 1995-2011. *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 10(1). Recuperado de: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/download/5729/9890/38825>
- Farok, G. M. G. (2017). Non-Revenue Water (NRW) Is a Challenge for Global Water Supply System Management: A Case Study of Dhaka Water Supply System Management. *Journal of Mechanical Engineering* 46 (1): 28–35. <https://doi.org/10.3329/jme.v46i1.32520>
- Fourie, R., Marnewick, A. & Joseph, N. (2020). An empirical analysis of residential meter degradation in Gauteng Province, South Africa. *Water SA*, 46(4), 645-655. <https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i4.9078>
- González-Gómez, F., García-Rubio, M.A. & Guardiola, J. (2011). Why is non-revenue water so high in so many cities?. *International Journal of Water Resources Development*, 27(2), 345-360. <https://doi.org/10.1080/07900627.2010.548317>
- Gwoździej-Mazur, J. (2017). Apparent water loss prevention using modern measurement tools. *E3S Web of Conferences* 17, 00029. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/20171700029>
- Herrera, D. B., Ávila, E. M. & Mejía, C. A. Z. (2020). Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá, Colombia. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 24(63), 84-98. <https://doi.org/10.14483/22487638.15333>
- Kingsley, A., Jianguo, D. & Patrick, B. (2017). Non-Revenue Water Management in Ghana: The Opportunities and Challenges. *Journal of Environment and Earth Science* 7 (10): 59-67–67. [https://www.researchgate.net/publication/321183903\\_Non-Revenue\\_Water\\_Management\\_in\\_Ghana\\_The\\_Opportunities\\_and\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/321183903_Non-Revenue_Water_Management_in_Ghana_The_Opportunities_and_Challenges)

- Lambert, A. & Hirner W. (2000). Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. *International Water Association*. <https://waterfund.go.ke/watersource/Downloads/001.%20Losses%20from%20water%20supply%20systems.pdf>
- Liemberger, R. & Wyatt, A. (2019). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Supply*, 19(3), 831-837. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.129>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2014). Resolución CRA 688 de 2014 por medio de la cual se establece la metodología tarifaria para las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado con más de 5.000 suscriptores en el área urbana. Bogotá D.C.: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. [https://www.cra.gov.co/documents/Resolucion\\_CRA\\_688\\_de\\_2014\\_Firmada.pdf](https://www.cra.gov.co/documents/Resolucion_CRA_688_de_2014_Firmada.pdf)
- Moahloli, A., Marnewick, A. & Pretorius, JHC. (2019). Domestic water meter optimal replacement period to minimize water revenue loss. *Water SA*, 45(2), 165-173. <https://doi.org/10.4314/wsa.v45i2.02>
- Morote, Á.-F. & Hernández-Hernández, M. (2018). Unauthorised Domestic Water Consumption in the City of Alicante (Spain): A Consideration of Its Causes and Urban Distribution (2005–2017). *Water*, 10(7), 851. <https://doi.org/10.3390/w10070851>
- Mosquera, M. R., Erazo, J. G. G. & del Río, D. R. (2019). Factores determinantes en el consumo residencial de agua potable en acueductos urbanos caso estudio ciudad de Popayán, Colombia. *Scientia et Technica*, 24(2), 321-331. <https://doi.org/10.22517/23447214.22111>
- Mutikanga, H. E., S. K. Sharma. & K. Vairavamoorthy. (2011). Assessment of Apparent Losses in Urban Water Systems. *Water and Environment Journal* 25 (3): 327–35. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2010.00225.x>
- Ncube, M. & Taigbenu, A. (2019). Assessment of apparent losses due to meter inaccuracy – a comparative approach. *Water SA*, 45(2), 174-182. <https://doi.org/10.4314/wsa.v45i2.03>
- Rimeika, M. & Albrektienè, R. (2017). Reduction of Apparent Water Losses. *10th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2017*. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.087>
- Ríos Canto, J., Santos-Tellez, R.U., Hansen Rodríguez, P., Antúnez Leyva, E. & Nava Martínez, V. (2014). Methodology for the Identification of Apparent Losses in Water Distribution Networks. *Procedia Engineering* 70(C): 238–47. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.027>
- Silva, C., De Padua, V. & Borges, J. (2016). Contribution to the Study of Measures for the Reduction of Apparent Water Loss in Urban Areas. *Ambiente*

& *Sociedade* 19 (3): 249–68. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC-20140010R1V1932016>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2020). Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2019. Recuperado de: [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Dic/estudio\\_sectorial\\_de\\_los\\_servicios\\_publicos\\_domiciliarios\\_de\\_acueducto\\_y\\_alcantarillado\\_28\\_dic\\_rev\\_1.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Dic/estudio_sectorial_de_los_servicios_publicos_domiciliarios_de_acueducto_y_alcantarillado_28_dic_rev_1.pdf).

Ziemendorff, S. (2017). Detección de conexiones clandestinas de agua potable con métodos acústicos—un nuevo método y su aplicación en campo. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(1), 5-17. <https://dx.doi.org/10.25127/indes.20153.130>

Ziemendorff, S., Velásquez, W. V. & Córdova, H. R. (2017). La seguridad de medidores de agua potable contra robo, vandalización y manipulación—problemática, avances y propuesta. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(2), 5-15. <https://doi.org/10.25127/indes.201502.001>



**Licencia de Creative Commons**

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

