

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

En la actualidad para el mundo el agua es un recurso natural de mucha importancia y vital para subsistir, sin ella no existiera vida, es un elemento que directamente que tiene que ver con el desarrollo de empresas en su parte productiva, y de personas para su existencia. Este recurso para ser consumida tiene que estar debidamente potabilizada para el uso de las empresas y personas. Siendo un líquido elemental, no tomamos conciencia con responsabilidad sobre su importancia, y su uso se realiza de manera indiscriminada.

Desde que el hombre empezó a contabilizar el agua tratada o la denominada agua potable trajo consigo el problema creciente del desperdicio de un considerable volumen de agua. A esta pérdida del volumen de agua se le denominó volumen de agua no contabilizada, la cual se define como la diferencia entre el volumen producido menos el volumen facturado y que representa la pérdida de agua potable en lo referente a pérdidas reales y pérdidas aparentes. Posteriormente esta pérdida se le denominó Agua No Facturada (ANF).

La falta de conocimiento del porcentaje de (ANF), el afán de implementar programas de reducción de pérdidas por parte de Cooperativa prestadora de servicios (Cosaalt Ltda), en el sistema de abastecimiento de agua potable en la sub zona El Carmen Aranjuez. Entonces ante el requerimiento de Cosaalt, resulta el tema de investigación, denominado: *“Análisis y Determinación De Agua No Facturada (ANF) En El Sistema De Abastecimiento De Agua Potable En La Sub Zona El Carmen Aranjuez”*. Para su determinación se necesitaron datos del volumen de distribución, instalando el equipo macromedidor LXLC- 100 registro para uso universal, que se encarga de la medición del caudal que ingresa a la red por una tubería de Ø 4” al barrio Carmen Aranjuez. Mediante el balance hídrico se realizará una estimación de las pérdidas de agua, tanto real como aparente.

1.2. Planteamiento del problema

El agua es un recurso vital para la vida en cualquier parte del mundo, el agua dulce no solamente es indispensable para la alimentación humana sino también es un elemento básico

para la producción industrial y agrícola, por lo tanto, su disponibilidad es fuente de bienestar y desarrollo de nuestra sociedad.

El agua no facturada es uno de los problemas más persistentes en los sistemas de suministro de las empresas prestadoras de servicio de agua potable, este término describe el agua que es producida pero que posteriormente se pierde o no se factura en el sistema. La enorme cantidad de agua pérdida por fugas en las redes de distribución urbana de agua y los volúmenes de agua distribuidos sin facturación pueden ser los elementos que complican la situación de suministro de agua, especialmente en los países en desarrollo y en transición.

Para las empresas comercializadoras de agua potable es de vital importancia identificar las pérdidas que ocurren en sus procesos de captación, conducción, potabilización y distribución de agua a todos sus usuarios. Esto se puede lograr a través de un balance hídrico, que permite contabilizar cada componente de agua que se suministra y se extrae de un sistema de abastecimiento de agua potable dentro de un período definido.

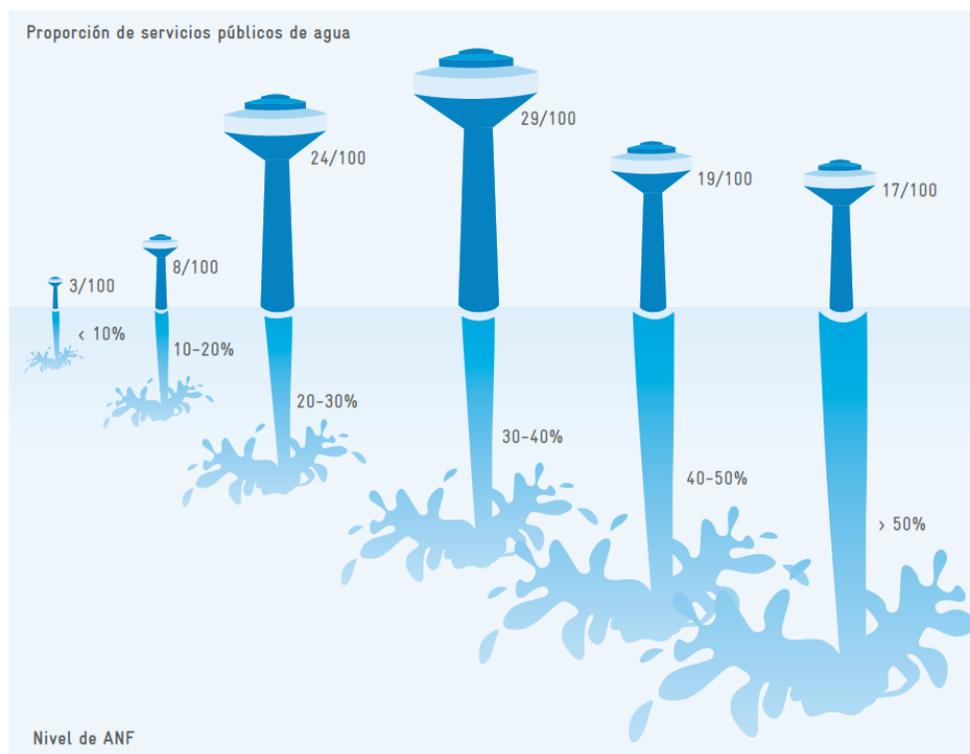


Figura N° 1: Niveles de ANF en empresas de agua en el mundo en desarrollo, según la base de datos de IBNET

Fuente: Falles et al, P. (2011)

En base a un estudio que cubre 40 empresas de agua en el sudeste de Asia y a la base de datos de IBNET sobre el desempeño de las empresas de agua que cubre más de 900 servicios públicos en el mundo, el Banco Mundial estima que la cifra actual para todos los niveles de ANF en el mundo en desarrollo esta probablemente en el rango de 40-50% del agua producida. Incluso si se usa una cifra más conservadora que pone en nivel promedio de pérdidas de agua en 35% del insumo del sistema, el Banco Mundial estima que el volumen anual de ANF en los países en desarrollo está en el rango de 26,7 mil millones de m³, lo cual representa aproximadamente USD 5,9 mil millones que pierden las empresas de agua cada año. (Falles et al, 2011, pág. 31)

Actualmente, las empresas de agua y saneamiento son las encargadas del transporte y de la distribución del recurso, debidamente tratado, para el consumo de los usuarios. Es desde esta tarea en donde se generan diversos compromisos de la empresa con los clientes y viceversa. Las principales responsabilidades son la garantía de transporte y distribución, y la calidad del suministro. Esta última debe cumplir con normativas en cuanto a la calidad del agua entregada, la presión de distribución, condición de las instalaciones hidráulicas y sanitarias, entre otras.

La falta de información actualizada del porcentaje de pérdidas de (ANF) en la sub zona de estudio, resulta un tema de gran interés para realizar una investigación, y obtener los datos necesarios. Esto es muy importante porque el problema no solo radica en la disminución de recaudación económica para Cosaalt, sino también en que los volúmenes de estas pérdidas ocasionan una baja en la continuidad del servicio y una disminución en la oferta de agua potable para los usuarios.

1.3. Justificación

La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y este porcentaje podría aumentar. La prestación de servicios adecuados de agua y saneamiento es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Mediante la gestión sostenible de nuestros recursos hídricos, podemos también gestionar mejor nuestra producción de alimentos y energía y contribuir al trabajo decente y al crecimiento económico. Además, podemos preservar nuestros ecosistemas hídricos y su diversidad biológica, y adoptar medidas para combatir el cambio climático. (ONU, 2015)

El (ANF) es uno de los problemas más persistentes en los sistemas de suministro de agua, por lo tanto, la importancia de tener un bajo Índice de Agua no Facturada, resulta primordial para su optimización. Con la determinación de los niveles de índice de pérdidas en los sistemas de abastecimiento, mejorará el servicio de agua potable de la Entidad Prestadora de Servicios, ya que se tendrá un adecuado control de las pérdidas.

El control de pérdidas en un sistema de agua potable se constituye en la estructura principal para los prestadores de servicio, obteniendo una rentabilidad no solo en términos financieros sino también en términos ambientales y sociales. En el ámbito ambiental, la disminución de las pérdidas de agua potable representa una reducción en la tasa de explotación del recurso agua, que refleja en un esfuerzo menor para recuperar tanto al ecosistema que produce el agua cruda como aquel que recibe los elevados volúmenes de residuos contaminantes producidos por el hombre al utilizarla. (Jouravlev, 2014)

Por su parte la importancia social se expresa en: a) la ampliación de coberturas: al disminuir las pérdidas se dispondrá de un volumen de agua adicional que permitirá atender a un mayor número de habitantes; b) la equidad social: la medición de los consumos de todos los usuarios eliminará la inequidad por el cobro de tarifas iguales a quienes gastan volúmenes distintos de agua y más aun la que resulta por aquellos que utilizan el servicio de manera clandestina, cuyos costos deben ser asumidos en últimas por el resto de la población; y c) la calidad del servicio: al implementarse un programa del control de pérdidas se regulan las presiones del servicio a los usuarios, se aumenta la continuidad del servicio, se puede destinar mayores recursos a la calidad del agua suministrada y se mejoran las relaciones usuario-prestador del servicio en los procesos de medición, facturación, cobro y atención de peticiones, quejas y reclamos.

El control y reducción de pérdidas desempeña un papel significativo en el mejoramiento de la situación que se vive actualmente, en donde este recurso hídrico no es accesible a miles de personas, especialmente las que se encuentran en zonas rurales. El método de sectorización reduce pérdidas aparentes y reales, ya que disminuye directamente la fuga de tuberías y conexiones domésticas, así como, detecta todas las conexiones clandestinas existentes.

El resultado de la investigación contribuirá con una eficaz alternativa a Cosaalt, para la elaboración de un plan de manejo y acciones con el fin de disminuir las pérdidas de agua

potable en el sistema de abastecimiento de agua, garantizando desde la captación, recolección, producción, distribución al usuario y consecuentemente mejorar en calidad, continuidad, oportunidad del servicio de tal manera mejoraran los ingresos económicos de la empresa e incrementar la eficiencia del mismo.

Al tener un adecuado control de los índices de pérdidas, se tendrá un uso optimizado del recurso hídrico, consiguiendo así una mayor cobertura del servicio. Con las medidas correctivas a partir de la identificación y determinación de los índices de pérdidas, se podrían disminuir los gastos y costos de mantenimiento en la sub zona de estudio.

Dicha investigación es viable y factible, en vista de que se tiene acceso a la información necesaria para realizar el estudio de investigación y determinar la cantidad de agua no facturada, de igual manera se cuenta con el apoyo técnico por parte de los trabajadores Cosaalt Ltda., como al acceso de la utilización de equipos y en el manejo adecuado de los instrumentos de medición como el Macromedidor LXCL-100 tipo Woltman registro para uso universal y el DataLogger Multilog® LX 2 portátil necesarios para desarrollar la presente investigación.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Determinar el porcentaje de Agua No Facturada para el sistema de abastecimiento de agua potable en la sub zona El Carmen Aranjuez.

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtener los registros de volúmenes de agua potable en la tubería de ingreso a la sub zona, así también los volúmenes de agua potable medidos y facturados, en un periodo de un año para realizar un balance hídrico.
- Establecer el balance hídrico que me permita identificar las pérdidas reales y aparentes de agua potable.
- Analizar el índice de agua no facturada en el sistema de abastecimiento de agua potable en la sub zona el Carmen Aranjuez.

- Estimar la pérdida económica que representa el agua no facturada en la recaudación de ingresos de la EPSA Cosaalt.

1.5. Hipótesis

Los indicadores de los niveles de índices de pérdidas serán determinados a partir del balance hídrico propuesto por el IWA (Asociación Internacional del agua).

Luego del análisis realizado en el sistema de abastecimiento de la sub zona El Carmen Aranjuez se determinarán los porcentajes de índices de pérdidas.

1.6. Alcance

La presente investigación considera, el sistema de abastecimiento de agua potable de la sub zona ubicado en el barrio “El Carmen Aranjuez” que es uno de los barrios de Tarija, esta pertenece a la zona de análisis de ANF del margen derecho del río Guadalquivir.

Cosaalt tiene mucho interés que se realice este estudio para conocer el ANF de esta sub zona, en función al convenio entre la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y Cosaalt la investigación tuvo el siguiente alcance:

- Los indicadores de los niveles de índices de pérdidas serán determinados a partir del balance hídrico propuesto por el IWA (Asociación Internacional del agua).
- Se obtuvo el número de tomas domiciliarias que deben ser clasificadas por el tipo de uso, con y sin medidor.
- Se obtuvo datos de registros de volúmenes suministrados al sistema de la tubería de ingreso hacia el barrio El Carmen Aranjuez que deben ser en resumen mensual, mínimo un año en este caso de diciembre de 2018 a noviembre de 2019.
- Se realizó la sectorización y la distribución de la población considerando un mismo sistema de abastecimiento de agua potable.
- Se pudo verificar que existen conexiones sin medidor (directo) solamente en la categoría doméstica A.
- La unidad de análisis corresponde a Cosaalt, por tanto, la generalización de los resultados es sólo para la población de estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes empíricos

En la tesis “*Análisis del índice de pérdidas para mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable del sector vi de la ciudad de Tacna – Tacna*”, el objetivo principal es Analizar el Índice de Pérdidas para mejorar el Sistema de Abastecimiento de agua potable del Sector VI de la Ciudad de Tacna en el cual plantea este análisis mediante un balance hídrico del sector logrando identificar las pérdidas de agua según la clasificación de esta metodología.

En la tesis “*Análisis y determinación de agua no facturada (ANF) en el sistema de abastecimiento de agua potable en la zona Larapa En La E.P.S. Sedacusco S.A*”, presentado Universidad Andina Del Cusco, modelo de investigación no experimental, descriptivo y explicativo. tiene como población el distrito de Larapa y muestra la demanda de los pobladores utilizando los instrumentos de la entrevista, análisis documental y la observación para su desarrollo. Tiene como objetivo principal, analizar los indicadores que miden los porcentajes del agua no facturada, en 4 avenidas principales, concluyendo que las mayores pérdidas de agua potable se dan en las pérdidas operativas que la empresa tiene.

Se determinó que las Pérdidas Comerciales de agua no facturada se da por los errores de medición en la Micro medición de los medidores, instalaciones ilegales, instalación de conexiones manipuladas por los usuarios y el hurto de agua, entre otros puntos que la empresa ha detectado y que se viene trabajando para su control adecuado. Al análisis económico realizado a la empresa, se muestra en números la pérdida que se tiene al no tener controlado el agua no facturada de S/. 52,136.51 por mes. Representando una pérdida para la empresa anual S/. 625,638.12, presupuesto que serviría para mejorar el servicio, las instalaciones, y el abastecimiento a toda la población. (Gutiérrez, 2016)

En el informe técnico “*Análisis de pérdidas en la red de distribución de agua potable del municipio del Líbano, Tolima - Colombia*”. Presenta un análisis de las pérdidas en la red de distribución de agua del municipio Líbano (Tolima, Colombia), en un periodo de 5 años

(2012-2016). Para ello fue necesario comparar las pérdidas de agua identificadas en la empresa de servicios públicos de agua potable y alcantarillado, con los índices establecidos en la normatividad local e internacional; establecer las consecuencias económicas que emanan de las pérdidas de agua y de esta manera sustentar una metodología que contribuya a la detección de fugas y plantear posibles soluciones para la disminución de las pérdidas (Herrera G., Alonso C. Y Zafra M., 2018).

Con ello se calculó el IANC (Índice de Agua No Contabilizada) que hace referencia a las pérdidas de agua tratada. Consiste en comparar el agua que se produce en las plantas de tratamiento de agua potable frente al agua facturada a los usuarios. Este indicador aumenta cuando hay demasiadas fugas en la red. (Alegre H., Baptista J., Y Parena R, 2000).

Para calcular este indicador es necesario conocer el caudal producido en la planta de tratamiento de agua potable y el caudal de facturación de la empresa de servicios públicos haciendo una sustracción entre estos dos caudales podemos calcular la cantidad de caudal de pérdidas en nuestro sistema de distribución, al dividir este último sobre el caudal producido en la planta de tratamiento nos da como resultado el IANC.

En la tesis ***“Proyecto de evaluación y reducción de pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua. EPS Emfatumbes S.A.”*** El objetivo general fue de dotar a la empresa EPS EMFATUMBES S.A. de un programa sistemático y permanente para la reducción y control de las pérdidas físicas y no físicas que ocurren en el sistema de abastecimiento de agua.

Se menciona que un nivel adecuado de pérdidas se encuentra dentro del rango de 20 al 25%. Así también que durante el desarrollo de la tesis, EMFATUMBES S.A solo contaba con la lectura de 520 medidores, equivalente al 5,3% del total de conexiones activas que se facturaban y que además no contaban con una política de mantenimiento, esto nos dice que las pérdidas por error de medición pueden ser considerables. En cuanto a las pérdidas por consumos clandestinos y de usuarios inactivos, alude que es un volumen consumido no recuperable en el sistema, pero si repercute en forma positiva a la empresa al tratar de disminuir estas pérdidas, acrecentando las ventas de agua, al formalizar ese tipo de conexiones.

Finalmente plantean procedimientos necesarios para realizar el balance hídrico y para poder determinar en forma real el índice de pérdidas en la zona de estudio, teniendo consideraciones prácticas y características del criterio de ingeniería. A su vez presenta criterios y estrategias a seguir por el programa de control y reducción de las fugas intradomiciliarias. (Apolo, 2014)

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

El agua es un recurso abundante en la tierra, y su uso es de primera necesidad para el ser humano y prácticamente no tiene sustitutos. El 70% de la superficie del planeta está cubierta por agua, pero sólo el 2,53% es agua dulce. El volumen total de agua en el planeta es aproximadamente de 1 400 millones de km³, alrededor de 35 millones son de agua dulce, no obstante, esta se encuentra en mayor proporción en forma de hielo o nieve permanente en la Antártida o en Groenlandia, la porción de agua utilizada por el ser humano es aproximadamente de 200 000 km³, menos del 1% del total de agua dulce. (CONAGUA, 2009).

El 34% de toda el agua mundial es agua no facturada, y es un problema que varía según la región. A continuación, se presenta las tasas de pérdidas de agua para distintos lugares del mundo.

- En Estados Unidos, la pérdida estimada está entre el 10 y 30%, aunque ciertos distribuidores señalan que tienen pérdidas de hasta el 50% por día. El gobierno federal estima las pérdidas a causa de fugas de tuberías en un 16%, lo que equivale a un estimado de 2,1 billones de galones de agua sin contabilizar.
- Las pérdidas en Delhi, India, fueron de aproximadamente 41% en el año 2018, sobre todo a causa de fugas, usos no autorizados y consumos no facturados. Parte de ello fue atribuido a la “ineficiencia, corrupción y fallas en las contabilidades”.
- Malasia, que tuvo una tasa de agua no facturada del 40% en el año 2008, la redujo a 34% en el año 2018.
- Por ejemplo, en Japón se tiene un porcentaje aproximado de 10% de agua no facturada, Tokio ha hecho un gran esfuerzo para reducir significativamente hasta

llegar a un nivel sorprendente debajo de 3% hoy en día, el cual es reconocido como uno de los modelos de abastecimiento del agua urbana más avanzado del mundo.

- Dinamarca el agua no contabilizada se pudo reducir hasta porcentajes menores al 8% e Inglaterra posee cifras cercanas al 21%.
- En América Latina el índice de agua no contabilizada es difícil de calcular dado el bajo grado de medición, se ha estimado que se encuentra entre el 35% y 55%.
- Ecuador tuvo una tasa de agua no contabilizada que va desde 30% hasta 60%, para el año 2015, lo que representa una pérdida de SU\$ 100 millones para el país.
- En Brasil de acuerdo con el último estudio de obras hídricas conducido por la ONG Instituto Trata Brasil, el índice de pérdida de agua del país llega a 39,1%.
- En Chile, de acuerdo a la última publicación del IWA en 2019, presenta porcentaje de agua no facturada de 33%.

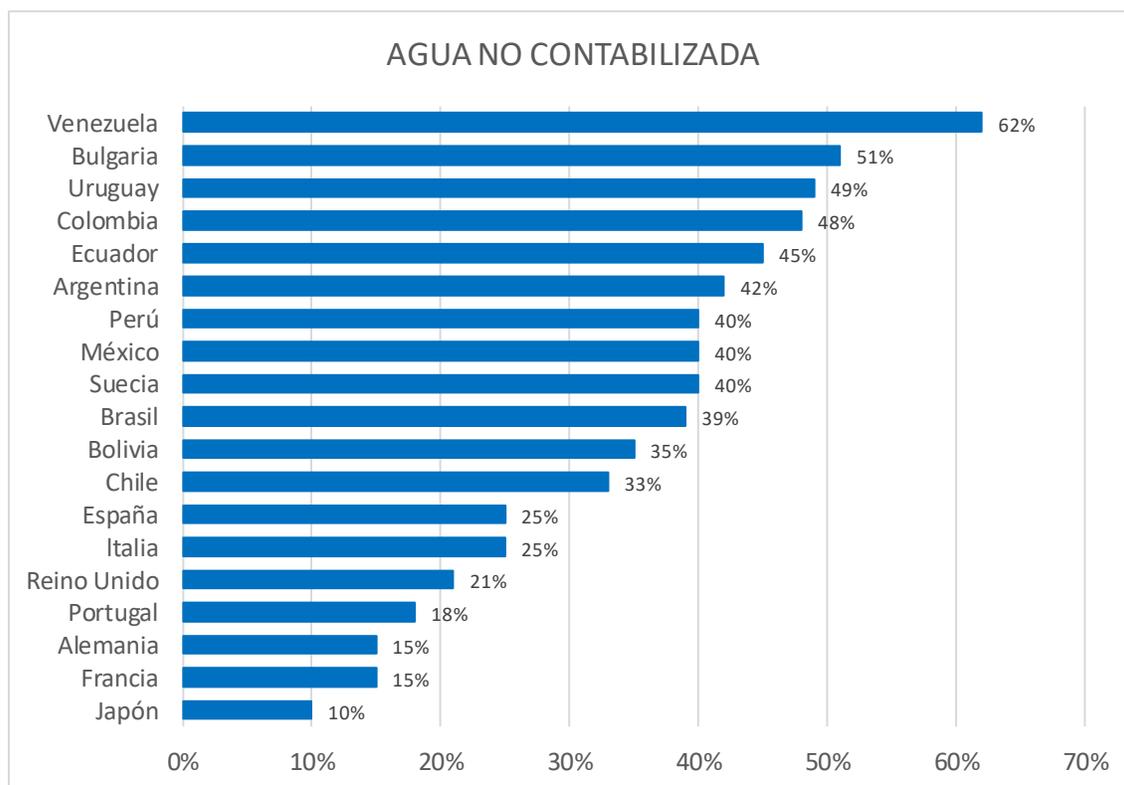


Figura N° 2: Agua no contabilizada en diferentes países

Fuente: IWA Publishing (2019)

Los diversos beneficios obtenidos como resultado de reducir la pérdida de agua comienzan con la reducción de los costos de producción de agua potable y siguen con la disposición de mayores suministros de agua, de que haya menos presiones sobre los recursos hídricos locales, una mayor eficiencia operativa y ahorros de varios otros tipos. (Rees & Roberson, 2016)

Los servicios públicos de abastecimiento de agua potable realizan esfuerzos en todo el mundo para detener esas pérdidas de agua. Dinamarca ha reducido sus pérdidas en promedio a un 9% y en algunas ciudades las pérdidas de agua no contabilizada se han reducido hasta un valor de 5%. El proceso se inició en 1989 con un impuesto sobre el agua producida, que les brindó a los proveedores suficientes incentivos para reducir pérdidas de agua y mejorar los sistemas de distribución. (Maestu, 2010)

Información relativa a los indicadores de gestión en diferentes países, publicada por la Organización Mundial de la Salud, OMS (2017), muestra cómo aún no se ha implementado la utilización propuesta por la IWA (Tabla N° 1), y refiere el índice en términos porcentuales (IANF).

Se puede observar que en América Latina y El Caribe el promedio del IANF en sus grandes ciudades es del 42%. Valores similares se registran en Asia y África, con 42% y 39% de IANF respectivamente. En América del Norte el IANF promedio es del orden del 15% en sus grandes ciudades. (Espinoza, Pérez, & Medina, 2019)

Región	África	Asia	América latina y el Caribe	Norte América
IANC %	39	42	42	15

Tabla N° 1: Promedio del IANF en grandes ciudades de África, Asia, América Latina, El Caribe y Norte América.

Fuente: OMS-OPS, (2017).

2.1.3. Antecedentes a nivel nacional

En el marco de la Ley N° 2066 del 11 de abril de 2000 y del Decreto Supremo N° 071 del 9 de abril del 2014, la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) fiscaliza, controla, supervisa y regula la prestación de Servicio de Agua y Alcantarillado Sanitario (EPSA). A la fecha, son 70 EPSA las que cuentan con

seguimiento regulatorio a nivel nacional en el marco del régimen de Licencias y Autorizaciones. En el 2018, se revocó la Licencia a una EPSA, COAPSB.

2.1.3.1. El modelo de seguimiento regulatorio

En Bolivia, el enfoque regulatorio está orientado a proteger los derechos del usuario, guardando el equilibrio del ecosistema, por cuanto se debe garantizar el derecho de acceso al agua potable y alcantarillado en base a los criterios de universalidad, responsabilidad, accesibilidad, continuidad, calidad, eficiencia, eficacia, tarifas equitativas (asequibilidad) y cobertura necesaria, buscando la sostenibilidad de las EPSA.

El seguimiento regulatorio se aplica mediante procesos de Fiscalización, Supervisión y Control, en base a normativa regulatoria y sectorial vigente en agua potable y saneamiento básico. La misma establece obligaciones, tanto de reporte como de cumplimiento de condiciones en la prestación de servicios, que tienen las EPSA ante el regulador, en su condición de titulares de Licencia. Por este motivo, están obligadas a contar con la planificación del servicio de corto y mediano plazo, reflejada en Planes de Desarrollo Quinquenal (PDQ) o Planes Transitorios de Desarrollo del Servicio (PTDS), Planes de Contingencia (PdC) y Planes Operativos Anuales (POA).

Las acciones para la fiscalización y seguimiento a las EPSA se realizan mediante el manejo de informes semestrales, anuales y de Estados Financieros, además de inspecciones en sitio a los diversos componentes de los servicios que prestan las EPSA.

Se evalúa el desempeño técnico, económico, financiero y comercial de la EPSA, traducido en indicadores de gestión. Éstos permiten realizar observaciones, recomendaciones e instrucciones a la EPSA para corregir los factores de distorsión que inciden negativamente en la prestación del servicio a través del tiempo. De esta manera, es posible percibir las tendencias de los indicadores y el desempeño histórico de las EPSA.

2.1.3.2. Categorización de las entidades prestadoras de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario (EPSA)

Una de las competencias de la AAPS es la otorgación de derechos: de uso y de aprovechamiento de fuentes de agua para consumo humano y de prestación de servicios de agua potable y saneamiento básico a las EPSA bajo el régimen de Licencias y Registros, de

acuerdo a la cantidad de población, dentro de su área de servicio autorizada, y la territorialidad.



Figura N° 3: Categorización de las EPSA, para la población

Fuente: Indicadores 2018

La otorgación de Licencias y Registros busca garantizar la seguridad jurídica en la prestación de servicios de agua potable y saneamiento, así como también sobre fuentes de agua, infraestructura, inversiones, incluyendo el área de prestación de servicios. Se asegura de esta forma, con el respaldo de la Ley, el derecho fundamental de acceso al agua que tiene el pueblo boliviano.

2.1.3.3. Agua no contabilizada en la red en Bolivia

En Bolivia la empresa SAGUAPAC de la ciudad de Santa Cruz cuenta con un mayor control de su infraestructura y una unidad especializada en gestión de pérdidas, evitando pérdidas de agua en la red, la cobertura de agua alcanza el 97% dentro del área de concesión de SAGUAPAC, que equivale a poco más del 60% de la población. El porcentaje de agua no facturada (ANF) alcanzado por SAGUAPAC es de 16,58%. Su facturación anual llega a US\$ 20 millones y la eficiencia en la cobranza es de 94%, servicios.

Su experiencia ha sido documentada y difundida en estudios realizados por el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo. EPSAS de la ciudad de La Paz cuenta con una unidad especializada en gestión de pérdidas de agua; sin embargo, sobrepasa levemente el parámetro óptimo con 31,20%. SEMAPA no cumple con el parámetro óptimo, situación recurrente que no ha podido superar desde gestiones pasadas con 35,12%.



Figura N° 4: Agua no contabilizada de las EPSAS reguladas

Fuente: Indicadores, 2018

Si el valor del indicador es bajo, se deduce que la EPSA presenta un buen nivel de eficiencia en la gestión operativa y comercial, y en el uso de su infraestructura. El porcentaje de agua no contabilizada es un indicador que puede disminuir notoriamente si el desempeño de los procesos mejora.

El 30% de las EPSA se encuentra en situación crítica: SEMAPA (Cochabamba), COSAALT (Tarija), EMAPAS (Sacaba), FLORIDA, COSFAL (Fátima), CAPSCH (Shinahota), CAPCHI (Chimore), EMPSAAT (Tupiza), SEAPAS (El Torno), COSPEFA (Fernández Alonzo), COSEPP (Padilla), La Guardia, COSEPCO (Concepción), COOSIV (San Ignacio de Velasco) y, en especial, el caso de AAPOS (Potosí). (APPS, 2018)

2.1.4. Antecedentes a nivel local

a. Fuentes superficiales

Fuentes actuales

El abastecimiento de agua de Tarija tiene como fuente principal las aguas superficiales especialmente provenientes del río La Victoria; adicionalmente desde el río Guadalquivir (obra de toma Las Tipas) y a partir del año 2010 se aprovechan las aguas de río Erquis.

La captación en el río La Victoria se realiza mediante tres obras de toma: una galería filtrante construida hace 40 años aproximadamente, y dos obras de toma superficial (una toma directa en el cauce y otra mediante un azud derivador).

El agua es conducida mediante un canal de mampostería de piedra construida hace aproximadamente 80 años. Según los registros de Cosaalt llegan 342 l/s al desarenador en época lluviosa (capacidad máxima del canal), y en estiaje el caudal baja hasta 108 l/s.

En condición de status quo se encuentra el sistema de San Jacinto, que dejó de funcionar el año 2006 por problemas con la calidad del agua al encontrar contaminación por plaguicidas; pero que dicha fuente sería una alternativa que pudiera reactivarse en un corto plazo si se implementara una unidad para la remoción de plaguicidas, adicionalmente a la rehabilitación de la infraestructura existente.

Fuentes futuras

El Gobierno Autónomo Departamental de Tarija tiene varios proyectos en diferentes niveles de ejecución para el aprovechamiento de los recursos hídricos para riego, electricidad y abastecimiento humano, teniendo como común denominador la utilización de fuentes superficiales. Para la ciudad de Tarija se puede tomar en cuenta los proyectos conocidos como: Huacata y Calderillas.

b. Fuentes subterráneas

Fuentes actuales

Ante la reducción drástica que se da en los caudales de las aguas superficiales, Cosaalt hace uso de las aguas subterráneas mediante la explotación de 37 pozos que promedia un caudal

cercano a los 180 l/s con máximos hasta de 250 l/s en los meses más críticos. El estudio hidrogeológico realizado para el acuífero de Tarija indica que se tiene un potencial equivalente a 567 l/s.

Fuentes futuras

En la llanura aluvial de pie de monte en la sub cuenca Tolomosa-San Andrés-Tablada se identifica un acuífero con un potencial importante. Si la calidad del agua fuera apta para el consumo humano solamente con desinfección sería una fuente estratégica a futuro; Si no cumpliera con la normativa de calidad se requerirá tratamiento para potabilización. Otra fuente se encuentra en proceso de construcción es el proyecto múltiple de Huacata, que consiste en una represa para abastecer de agua para generación hidroeléctrica, riego en el municipio de San Lorenzo y agua para consumo humano.

En la actualidad se encuentra en proceso de evaluación de la calidad del agua debido a que pasivos ambientales de minería representan un riesgo de contaminación con metales pesados; además de haber detectado la presencia de plaguicidas.

c. Consumo de agua

En el período analizado, del año 2007 a 2012, se observa una tendencia a la reducción del consumo por parte de los usuarios que tienen medición. El consumo per-cápita ha venido disminuyendo desde hace varios años (en el 2003 Cosaalt presentaba consumos mayores a 300 lppd), y en los últimos 5 años aún se observa esa tendencia a la baja.

Si consideramos los datos de volumen facturado para usuarios con medidor como más confiable para hacer el análisis del consumo, en el año 2007 era de 168 lppd, mientras que al año 2012 habría bajado a 160 lppd. Dicha tendencia es coincidente con las políticas expresadas por Cosaalt en sus planes estratégicos, así como lo establecido en los Términos de Referencia de ésta consultoría, en la que se expresa la búsqueda de reducción en el consumo per-cápita.

Por otro lado, están los usuarios con servicio directo (Fijo), que al contrario de los medidos, han visto incrementar el consumo per-cápita desde 187 Lppd el año 2007 a 271 Lppd en el 2012. Esto es visto como una medida para que los usuarios que no tengan medición

domiciliar opte por requerir el micromedidor para poder bajar su facturación, ya que se ha expresado cierta reticencia de los usuarios a la instalación de tal aparato.

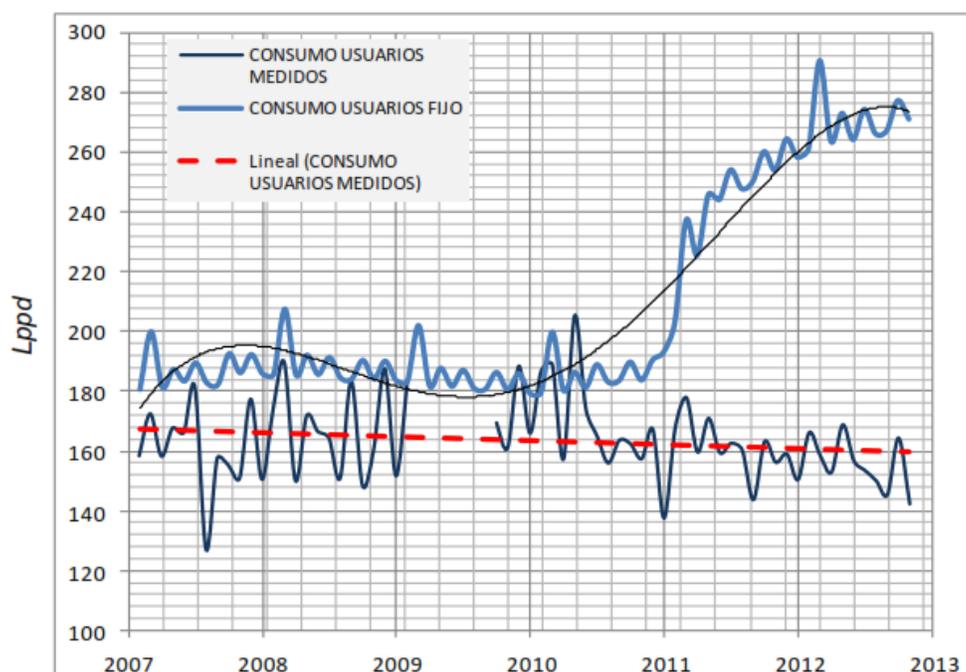


Figura N° 5: Evolución histórica de consumos per-cápita (l/d)-Tarija (2007-2012)

Fuente: Base información de Cosaalt

En la figura 5 la línea roja muestra la tendencia de reducción del consumo en los usuarios que tienen medidor, y la línea negra indica la tendencia de reducción del consumo facturado a los usuarios sin medición.

Los niveles de medición del consumo por usuario son muy bajos para llevar un control del desperdicio, en aquellas conexiones que no tienen el mecanismo de control representado por el medidor domiciliario. La situación se agrava más cuando hay usuarios considerados grandes consumidores y no tienen medición, tales como algunos servicios institucionales que usan el agua para riego de zonas verdes o establecimientos comerciales e industriales.

2.1.4.1. Agua no contabilizada (situación actual – estrategias futuras)

Debido a la falta de macro medición, micro medición en los comités de agua de San Lorenzo, Uriondo y Padcaya; solo se pudo realizar el análisis de agua contabilizada en el municipio de Tarija, con Cosaalt. Las pérdidas serían del orden de 39% de total de la producción.

Detalle de pérdidas (%)	Años					
	2012	2016	2021	2026	2031	2036
<i>En red (%)</i>	24	24	6	24	23	20
<i>En potabilización (%)</i>	3	3	2	2	2	2,5
<i>En aducción (%)</i>	5	5	5	5	5	3
<i>Total pérdidas (%)</i>	39	39	35	30	27	25

Tabla N° 2: Pérdidas de agua en el sistema

Fuente: Base información Cosaalt

Las estrategias futuras para reducir el ANC son usar micro y macro medición y establecer una administración operativa que se oriente a dar uso adecuado del agua potabilizada.

2.1.4.2. Análisis de pérdidas de agua

El volumen de agua perdida entre el punto de suministro y el medidor del cliente debido a varias razones. Se puede expresar como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado y consiste de pérdidas aparentes y reales.

Las pérdidas aparentes se pueden subdividir en consumo no autorizado, inexactitudes de medición y errores de manejo de datos. Las pérdidas reales se constituyen de fugas desde tuberías de transmisión y distribución, fugas desde conexiones de servicio y fugas desde tanques de almacenamiento.

2.1.4.2.1. Análisis de pérdidas físicas en Cosaalt

Cosaalt dispone de sistemas de macro medición pero no le permite controlar adecuadamente producción y distribución, almacenamiento y medición de facturación al 100% de usuarios.

A continuación, el Plan Metropolitano del Valle Central de Tarija pone a consideración el estudio respecto a las pérdidas físicas en el sistema.

Las pérdidas físicas son las que se originan debido a fugas pueden ser visibles y no visibles. Se encuentran en diferentes lugares desde la captación, conducción, almacenamiento y distribución de agua.

Las pérdidas físicas son las más comunes y se manifiestan con mayor frecuencia en épocas que el sistema dispone de mayor agua es decir en época de lluvias.

Pérdidas por fugas visibles y no visibles en la red

Se registran pérdidas por fugas visibles y no visibles en la red en la distribución de agua debido a rotura de tuberías. También se registran pérdidas por fugas en acometidas o conexiones de los usuarios con un promedio mensual de 200 fugas/mes.

Estas fugas se hacen notar por el incremento en sus consumos y reclamo por aumento de tarifas. Se estima en un 15% de la producción. También se registran este tipo de pérdidas en algunos pozos debido a fugas en tuberías y válvulas, uniones universales, etc.

2.1.4.2.2. Pérdidas comerciales

Pérdidas por error en micro medición

Producidas por error en los medidores por falta de calibración o por el uso que se les da en el transcurso del tiempo. Según datos del departamento comercial de Cosaalt sus micro medidores trabajan con alrededor de un error de 3% y se realizan reparaciones y mantenimiento periódico de estos equipos.

Pérdidas por servicios sin medición

Las pérdidas por servicios sin medición se deben al mal empleo o uso de agua. Debido a que algunos usuarios al carecer de micro medición desperdician el agua como ser actividades de riego de jardines, lavado de vehículos, patios y aceras. No existe un valor por lo que se estima en un 5% como pérdida.

Pérdidas por conexiones clandestinas

Este tipo de pérdidas son de gran importancia, pero difíciles de cuantificar. Debido a que no se encuentran fácilmente, pero se tiene un promedio de encuentro de dos fugas clandestinas/mes. Este dato fue obtenido en el área comercial de Cosaalt. No existe un censo de este tipo de usuarios y se estima en un 5% como pérdida.

Pérdidas por falta de pago de usuarios públicos

Se consideran también pérdidas por falta de pago de usuarios porque de alguna manera se consume el agua producida sin remuneración alguna. No existe un valor y se estima en un 8% como pérdida. (Plan Maestro, 2015)

2.2. Pérdidas de agua – un problema global

Los rápidos cambios mundiales, como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico, la migración y la urbanización están poniendo nuevas presiones sobre los recursos de agua y sobre la infraestructura que suministra agua potable a los ciudadanos, las empresas, las industrias y las instituciones.

La enorme cantidad de agua perdida por fugas en las redes de distribución urbana de agua (pérdidas físicas o reales de agua) y los volúmenes de agua distribuidos sin facturación (pérdidas de agua aparentes) pueden ser los elementos que complican la situación de suministro de agua, especialmente en los países en desarrollo y en transición (GIZ, 2011).

2.2.1. Origen de las pérdidas

La existencia de pérdidas de agua en un sistema de abastecimiento urbano es un problema de eficiencia operacional, que debe ser estudiado de forma integral ya que comprende múltiples facetas.

Conducción

En la conducción las pérdidas son causadas por: corrosividad del suelo, tuberías en mal estado, piezas especiales y demás componentes de mala calidad. Corrosividad del agua, golpes de ariete y altas presiones. Asentamientos imperfectos de la tubería y demás piezas.

Estación de tratamiento

Las causas más comunes de las pérdidas en las estaciones de tratamiento son: equipo inadecuado, mano de obra no calificada o sin la debida capacitación.

Distribución

El comportamiento de las pérdidas en la red de distribución es similar al de las aducciones, en cuanto a los factores de que dependen: presión interna, calidad y estado de conservación de los materiales, métodos de construcción empleados, etc. Sin embargo, la extensión de las tuberías, el número significativamente superior de sus elementos accesorios (piezas especiales, válvulas, grifos), y de factores externos (tráfico de vehículos, interferencia de servicios en otras redes públicas), las exponen a una mayor probabilidad de roturas y fallas de estanqueidad que se traducen en pérdidas físicas de agua.

2.2.2. Agua potable

Es aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la presente norma. (NB 512, 2010)

2.2.3. Agua No Facturada (antes agua no contabilizada)

El agua no facturada viene a ser la diferencia del volumen de abastecimiento menos el volumen facturado (consumo autorizado facturado) o como la suma del consumo autorizado no facturado y de las pérdidas de agua; comprende las pérdidas totales contemplando dentro de esta las pérdidas reales y aparentes de un sistema de distribución de agua potable. (Ticona & Quiróz, 2019)

El índice de agua no contabilizada en red es el porcentaje de agua que se pierde a partir del total de agua tratada y/o desinfectada hasta su llegada a los puntos de consumo, por pérdidas reales y aparentes que son provocadas por conexiones clandestinas, redes antiguas con filtraciones, coberturas bajas en micro medición, ausencia de sectorización de la red, y otros factores técnicos que minimizan el nivel de dotación efectiva de agua potable. (APPS, 2018)

La Gestión del Agua no contabilizada es la ejecución continua de procesos y tareas que facilitan una detección de las deficiencias del Sistema de distribución de agua potable, su correspondiente medición y registro contable.

Los componentes más importantes de agua no contabilizada son: Las pérdidas reales (fugas visibles y no visibles), el sub-registro o sobre registro de la micro medición, las conexiones clandestinas y pérdidas aparentes por procesos de facturación y control.

El agua no contabilizada en este documento se entiende como la diferencia entre la producción anual en plantas de tratamiento y el consumo anual facturado en m³. (Comunidad Andina, 2011)

El agua no facturada es aquella agua que ha sido procesada con estándares de calidad y que se pierde antes que llegue a las personas (ya sea a través de Fugas, robo o tuberías clandestinas, el cual es difícil determinar y no se puede generar una factura), parte de esto puede remediarse por medio de acciones técnicas o administrativas apropiadas.

Puede entonces ser usada para enfrentar la demanda actualmente insatisfecha (y por lo tanto aumentar la facturación de la empresa), o para diferir futuros gastos de capital para brindar suministro adicional (y por lo tanto reducir costos a la empresa).

Según lo indicado se puede puntualizar que el agua no facturada representa un perjuicio económico para la empresa, donde además el uso ilegal que hacen terceros y malos usuarios afecta la presión del servicio de los clientes y a pesar de la insatisfacción de estos clientes realizan el pago por el servicio. Para ello recomienda la aplicación de métodos adecuados con el fin de aumentar los ingresos económicos de la empresa. (IBNET, 2015)

2.2.4. Balance hídrico

Tiene como propósito rastrear y contabilizar cada componente de agua que se añade y se deduce de un sistema de abastecimiento de agua dentro de un periodo definido. Un balance hídrico busca así identificar todos los componentes de consumo y pérdidas en un formato estandarizado. Es el primer paso para evaluar el agua no facturada y en manejar las fugas en las redes de distribución de agua.

Cuando se elabora el cálculo del balance hídrico, es extremadamente importante recordar que la exactitud de los volúmenes de pérdida de agua depende de la exactitud y calidad de datos utilizados en el cálculo. En consecuencia, una medición verídica de todos los volúmenes de agua que ingresan y salen del sistema de abastecimiento es un requisito primordial.

La validación de los datos también representa un papel clave en determinar los volúmenes de pérdidas de agua. Existen varias técnicas para calcular el balance hídrico y estas deben combinarse para lograr resultados confiables, siendo las más importantes: el balance hídrico anual desde arriba hacia abajo y la evaluación de pérdidas reales desde abajo hacia arriba.

A grandes rasgos, el balance de agua establece conceptos para identificar y separar los componentes que lo forman, como es el volumen de entrada, que representa el volumen anual del sistema de abastecimiento o de una parte del mismo, el consumo autorizado es el volumen anual medido o no medido que es suministrado a usuarios registrados. Se establecen también los conceptos de agua que genera ingresos y agua que no genera ingresos, siendo el primero igual al consumo autorizado facturado, y el segundo igual a la diferencia resultante entre el volumen de agua y el consumo autorizado facturado.

Las pérdidas de agua corresponden a las pérdidas aparentes y a las pérdidas reales, que es equivalente a la diferencia entre el volumen de entrada y el consumo autorizado. Las pérdidas aparentes son la suma de los consumos no autorizados y las mediciones inexactas, también denominadas “pérdidas de gestión”. Las pérdidas reales comprenden las fugas y derrames en las tuberías y tanques desde la fuente hasta el punto de medición del usuario, y se denominan asimismo “pérdidas físicas”.

De forma general se puede decir que el consumo autorizado es aquel que está explícita o implícitamente autorizado por la compañía de agua, independientemente de si este consumo se paga o no. El consumo autorizado suele incluir el consumo de agua utilizado por la propia empresa. Las fugas reales las forman las fugas y los derrames ocurridos antes del punto de consumo. Las fugas aparentes son los consumos no registrados debido a errores en medición, error en la estimación de grandes consumos, o consumos no autorizados. Las pérdidas totales de agua son la suma de las pérdidas reales y las pérdidas aparentes.

Los medidores suelen tener cierto grado de error, eso significa que no contabilizan el 100% del agua que los atraviesa. Es por ello que en los balances de agua siempre existe un cierto grado de inexactitud en lo que se refiere a pérdidas totales y sus subdivisiones de reales y aparentes. Esta inexactitud suele aumentar cuando existe suministro intermitente, medidores con déficit de mantenimiento, medidores que no contabilizan bien cuando el nivel de flujo es bajo, almacenamiento considerable en la propiedad de los consumidores (depósitos domiciliarios), lo que se traduce en periodos donde la toma de agua de la red de distribución es lenta o muy baja. (Delgado, 2011)

Para eliminar pérdidas de agua se debe establecer un balance hídrico en intervalos regulares, esto generará la base para disminuir progresivamente el agua no facturada. En el pasado se utilizó una gran variedad de formatos y definiciones para estos cálculos. La Asociación Internacional del Agua (IWA, por sus siglas en inglés) formó un grupo de trabajo sobre indicadores de desempeño y pérdidas de agua para lograr cifras internacionalmente comparables. (Lambert & Hirner, 2000)

La Asociación internacional de Agua (IWA) incorporó un modelo de mejores prácticas internacionales para el cálculo del balance hídrico, que permita estimar los caudales que se pierden en una red de distribución de agua, considerando las pérdidas reales las que se

generan en las redes, las pérdidas aparentes, las que suceden debido a la existencia de conexiones clandestinas y subregistro de los medidores de agua.

Las pérdidas de agua (Q_p) es el volumen de agua que se pierde entre el punto de ingreso al sistema de distribución y el punto de empalme a las instalaciones interiores del dominio del cliente.

VOLUMEN DE INGRESO AL SISTEMA	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado facturado	Consumo facturado medido	AGUA FACTURADA	
			Consumo facturado no medido		
		Consumo Autorizado no facturado	Consumo no facturado medido		AGUA NO FACTURADA
			Consumo no facturado no medido		
	Pérdidas de agua	Pérdidas aparentes	Consumo no autorizado		
			Inexactitudes de los medidores		
		Pérdidas reales	Fugas en tuberías de aducción y distribución		
			Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente		

Tabla N° 3: Metodología del Balance Hídrico Propuesto por el IWA

Fuente: Manosalvas, 2011

Principalmente el balance hídrico de la IWA se compone de los elementos considerados en su tabla, los cuales se describen a continuación:

2.2.4.1. Volumen de Entrada al Sistema (Q_i)

Es el volumen que ingresa a una parte definida del sistema de suministro de agua, se mide en algún punto determinado como punto de inicio para el cálculo del balance ubicado después de la planta de tratamiento su unidad de medida es m^3 , se divide en consumo autorizado y pérdidas de agua.

Se tiene que hacer una estimación apropiada de cantidades si no se miden los volúmenes de ingreso al sistema es absolutamente prioritaria para el cálculo del balance hídrico la medición de los volúmenes de agua suministrados al sistema, ya que es prácticamente imposible evaluar pérdidas en el mismo sin dicha información.

2.2.4.2. Consumo autorizado (Q_A)

Es el volumen de agua tanto medido como no medido tomado por los clientes registrados, la empresa de agua y otras partes autorizadas. Incluye el consumo autorizado facturado (como el consumo medido facturado, el consumo no medido facturado) así como el consumo autorizado no facturado (como consumo medido no facturado y consumo no medido no facturado).

Esta parte del balance hídrico también comprende fugas y reboses luego del punto de medición del cliente, así como los propios requisitos de la empresa de agua, por ejemplo, para lavar tuberías o lavar los filtros.

$$Q_A = Q_{AF} + Q_{AuNF}$$

a. Consumo autorizado facturado (Q_{AF})

Es el volumen de agua que se entrega y se factura al cliente exitosamente, el cual genera entonces ingreso para la empresa de agua.

- **Consumo facturado medido**

Volumen de agua medido que se registra en el sistema contable y por el que se tiene que pagar una factura, incluyendo el consumo doméstico, comercial e industrial.

- **Consumo facturado no medido**

Es el volumen de agua que no ha sido medido pero que se registra en el sistema contable y para el que se tiene que pagar una factura, incluyendo el consumo doméstico, comercial e industrial.

b. Consumo autorizado no facturado (Q_{AuNF})

Es el volumen de agua medida y no medida por el que no se ha pagado ninguna factura. Incluye también el agua utilizada por el servicio público de agua mismo (para propósitos operativos como la limpieza de principales o el lavado de filtros).

- **Consumo no facturado medido**

Es el volumen de agua medida por el cual no se ha pagado ninguna factura. Algunos ejemplos de usuarios autorizados son los edificios municipales o los camiones cisterna de agua.

- **Consumo no facturado no medido**

Es el volumen de agua que no ha sido medida y por el cual no se ha pagado ninguna factura. Algunos ejemplos de usuarios autorizados son las áreas de pueblos jóvenes, parques públicos o servicios contra incendios.

2.2.4.3. Pérdidas de agua (Q_P)

El volumen de agua perdida entre el punto de suministro y el medidor del cliente debido a varias razones. Se puede expresar como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado y consiste de pérdidas aparentes y reales. Las pérdidas aparentes se pueden subdividir en consumo no autorizado, inexactitudes de medición y errores de manejo de datos. Las pérdidas reales se constituyen de fugas desde tuberías de transmisión y distribución, fugas desde conexiones de servicio y fugas desde tanques de almacenamiento.

$$Q_P = Q_{PA} + Q_{PR}$$

a. Pérdidas Aparentes (Q_{PA})

Las pérdidas aparentes, están comprendidas por toda el agua que es entregada exitosamente al cliente, pero que no es medida o registrada con exactitud, la cual es causante de un error en la determinación de la cantidad de agua que consumen los clientes. Por lo tanto, este tipo de pérdidas crean costos en la producción sin generar ingreso para la empresa.

- **Consumo no Autorizado**

Es aquella cuya extracción no está autorizada, constituye una fuente importante de pérdidas y aparece de maneras muy diferentes, por ejemplo en los robos de agua, conexiones ilegales o en los medidores vandalizados o manipulados de los clientes o en los medidores que los clientes evitan, así como en la extracción ilegal del agua de las tuberías contra incendios.

- **Pérdidas por submedición**

Son aquellas pérdidas debido a las inexactitudes de los medidores, son frecuentemente la pérdida más común de las pérdidas aparentes.

La experiencia muestra que hay un porcentaje de agua no se mide o se mide de manera incorrecta debido a errores de medición o también a pérdidas crecientes en los medidores de agua.

Esto puede estar causado por seleccionar medidores inadecuados, medidores mal dimensionados, por una instalación no correcta y por la no calibración de los medidores, así como debido a un deterioro progresivo en el desempeño de los medidores a lo largo del tiempo.

- b. Pérdidas Reales (Q_{PR})**

Las pérdidas reales son volúmenes de agua perdidos dentro de un determinado periodo a través de todo tipo de fugas, estallidos y reboses.

Estas pérdidas se pueden clasificar de acuerdo a su ubicación dentro del sistema, como son: fugas en tuberías principales de transmisión y distribución y fugas en conexiones de servicio hasta el punto de medición al cliente.

- **Fugas visibles**

Aquí se considera aquellas aguas que se pierden al ocurrir grietas o rupturas en las tuberías (estallidos debido a corrosión o a causas foráneas), en uniones (empaquetaduras dañadas, desconexión) y en válvulas (falla operativa o de mantenimiento) y usualmente tienen tasas de flujo medianas a altas y tiempos de fuga de cortos a medianos de duración.

- **Fugas invisibles**

Esta se refiere a aquellas fugas ocurridas desde conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente, a menudo nos referimos a las conexiones de servicios, como los puntos débiles de las redes de abastecimiento de agua, porque sus accesorios y uniones muestran tasas de falla altas. Este tipo de fugas en las conexiones de servicio

son difíciles de detectar, esto debido a sus tasas de flujo comparativamente bajas y por lo tanto llegan a tener tiempos de fugas largos.

2.2.4.4. Agua Facturada (AF)

Es aquel volumen de agua entregada exitosamente al cliente y que además es facturada, es decir, genera ingresos económicos para la empresa de agua. Ésta corresponde al consumo autorizado facturado, pero se usa en un contexto económico.

$$Q_F = Q_{AF}$$

2.2.4.5. Agua no Facturada (ANF)

Es el volumen de agua que permanece sin facturarse y que por ende no genera ingreso alguno para la empresa. Se expresa como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado facturado, o como la suma del consumo autorizado no facturado y de las pérdidas de agua.

$$ANF = Q_I - Q_{AF}$$

$$ANF = Q_{AuNF} + Q_{PA} + Q_{PR}$$

2.2.5. Reparación de Fugas

Habitualmente varias gerencias o divisiones de las empresas de agua participan en el proceso de reparar las fugas, por ejemplo:

- El área de servicio al cliente (recibe las quejas de los clientes y emite las órdenes de trabajo).
- El área de control (observa un consumo anormal en una zona y solicita a la cuadrilla de detección y reparación de fugas que intervenga).
- El área de almacén (mantiene los materiales e insumos de reparación en stock y dirige los suministros).
- La misma cuadrilla de reparación de fugas, encargada de solucionarlo.

Es sustancial que se organice eficientemente los procesos operativos entre todas las áreas involucradas y que estén bien documentados.

Se debe priorizar la reparación de fugas tomando en consideración el tamaño de las mismas; es esencial que el personal encargado de la reparación de fugas esté capacitado, motivado y equipado con todo el equipo, vehículos, aparatos de comunicaciones y el equipo de seguridad pertinente; el número de cuadrillas debe ser proporcional al número de fugas a reparar.

El área de almacenes debe asegurarse de tener en inventario los repuestos que se utilizan y estimar qué tiempo de entrega no es tolerable. El análisis de las bases de datos de las fallas y tasas de fallas puede ayudar a identificar los tipos de tuberías y válvulas que tienden a dañarse con mayor frecuencia. (Alvarado & Cauna, 2019)

2.2.6. Índice de Pérdidas (IP)

El Índice de Pérdidas, es un indicador comúnmente usado para calcular las pérdidas reales y no reales de agua, en los sistemas de abastecimiento de agua potable de las empresas prestadoras de servicio.

El índice en empresas que poseen un Control de Pérdidas Efectiva presenta valores menores a 30%. Un índice en un rango entre 25 y 30% es aceptable como meta para empresas del Bolivia que poseen programas de Control de Pérdidas implantados y desarrollados.

El Índice de Pérdidas (IP) es una relación entre el Volumen Distribuido o Producido y el Volumen Consumido de un sector en específico en un mismo intervalo de tiempo y en las mismas condiciones de continuidad de servicio.

Se representa de la siguiente manera:

$$IP (\%) = \frac{\text{Volumen de entrada al sistema} - \text{Consumo Autorizado Facturado}}{\text{Volumen de entrada al sistema}} \times 100$$

$$IP (\%) = \frac{(V_I - V_{AF})}{V_I} \times 100$$

2.2.7. Pérdidas reales

Son volúmenes de agua perdidos dentro de un determinado periodo a través de todo tipo de fugas, estallidos y reboses. Estas pérdidas se pueden clasificar de acuerdo a: Su ubicación dentro del sistema y su tamaño y al tiempo durante el cual fugan.

Ubicación

Fuga desde las troncales de transmisión y distribución: Puede ocurrir en tuberías (estallidos debido a causas foráneas o a corrosión), uniones (desconexión, empaquetaduras dañadas) y válvulas (falla operativa o de mantenimiento) y usualmente tiene tasas de flujo medianas a altas y tiempos de fuga de cortos a medianos.

Fuga desde conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente: A veces nos referimos a las conexiones de servicios como los puntos débiles de las redes de suministro de agua porque sus uniones y accesorios exhiben tasas de falla altas. Las fugas en las conexiones de servicio son difíciles de detectar debido a sus tasas de flujo comparativamente bajas y por lo tanto tienen tiempos de fuga largos.

Fuga y reboses de tanques de almacenamiento: Estas están causadas por controles del nivel que son deficientes o están dañados. Además, puede ocurrir filtración de las paredes de concreto o de la construcción que no son herméticas. A menudo se subestiman las pérdidas de agua desde tanques y aunque son fáciles de detectar, la reparación a menudo es complicada y cara. (GIZ, 2011)

Tamaño y tiempo de la fuga

Las fugas reportadas o visibles: Proviene principalmente de estallidos súbitos o rupturas de uniones en grandes troncales o tuberías de distribución.

El agua que fuga aparecerá en la superficie rápidamente dependiendo de la presión del agua y el tamaño de la fuga, así como de las características del suelo y la superficie. No se requiere equipo especial para ubicar las fugas (GIZ, 2011).

Fugas no reportadas u ocultas: Estas por definición tienen caudales mayores a 250 l/h a 50m de presión, pero debido a las condiciones no favorables no aparecen en la superficie. La presencia de fugas ocultas se puede identificar analizando tendencias en el comportamiento del consumo de agua dentro de una zona definida de suministro de agua. (Farley, 2001)

Fugas de fondo: Comprende pérdidas de agua con caudales menores a 250 l/h a 50 m de presión. Estas fugas muy pequeñas (filtración o goteo de uniones, válvulas o accesorios no herméticos) no se pueden detectar utilizando métodos de detección acústicos de fugas.

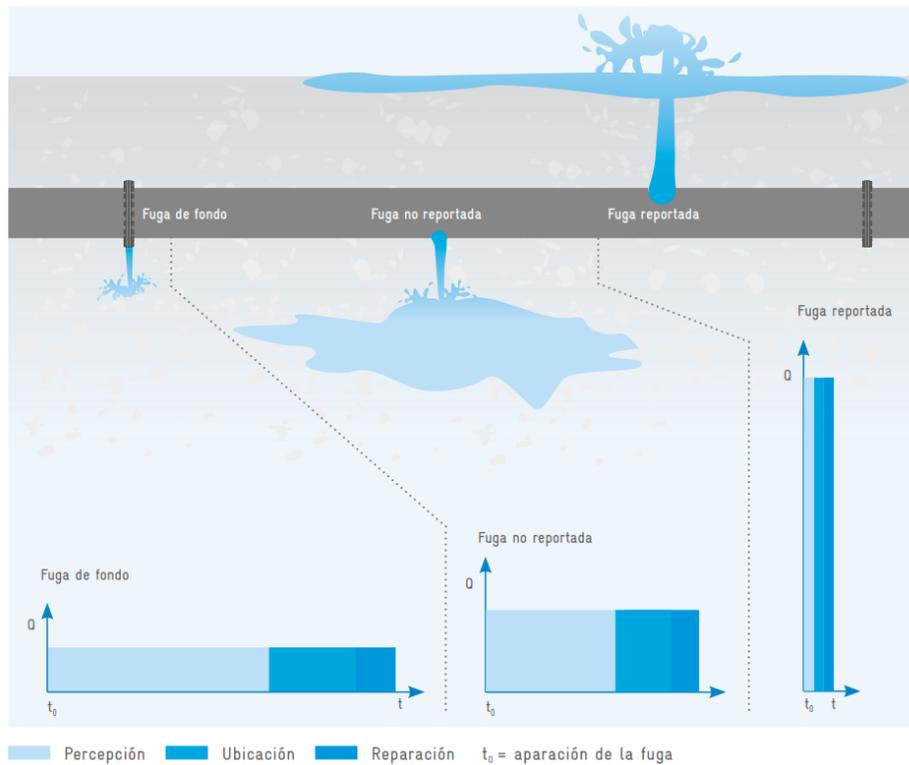


Figura N° 6: Relación entre tasa de fuga (Q) y tiempo de fuga (t)

Fuente: Guía para la reducción de pérdidas de agua–Giz. VAG

Por lo tanto se asume que muchas fugas de fondo nunca se detectan ni reparan sino que fugan hasta que se reemplaza eventualmente la parte defectuosa. Las fugas de fondo a menudo causan una buena parte de las pérdidas reales de agua.

2.2.7.1. Causas de las pérdidas reales

Los tubos y los accesorios de distintas dimensiones, material y edad se instalan bajo tierra donde están sujetos a una multiplicidad de factores que no se pueden registrar y controlar regularmente. Asimismo clasifican estas causas en:

Tubos y uniones defectuosos

Fallas del material causadas durante la fabricación como el insuficiente espesor de pared, ausencia de protección contra la corrosión en los tubos de acero, mal revestimiento de refuerzo en los tubos de concreto. Las condiciones de las tuberías expuestas a la corrosión. También la edad de la tubería es un factor de gran influencia en las fugas. Por otro lado un mal diseño durante la fase de planteamiento puede influenciar las fugas en las tuberías.

Válvulas y accesorios defectuosos

Las fugas desde válvulas y accesorios incluyen ruptura, deformaciones o fallas materiales en el cuerpo de la válvula, así como empaquetaduras que fugan en las uniones, sombreretes o boquillas. Una manipulación poco cuidadosa o una ausencia de mantenimiento a menudo causan estas fugas.

Las válvulas y accesorios defectuosos pueden contribuir significativamente a las pérdidas reales de agua a pesar de tener tasas de fuga relativamente bajas. Estos daños a menudo siguen sin descubrirse por un largo tiempo sin un programa de servicio regular.

2.2.7.2. Método de intervención para pérdidas reales

Para una situación dada los métodos que se tomarán dependen en gran medida de los factores que se atribuyen a las pérdidas reales de cualquier sistema particular, y el costo-beneficio de cada método de intervención se mencionan cuatro métodos de intervención para las pérdidas reales.

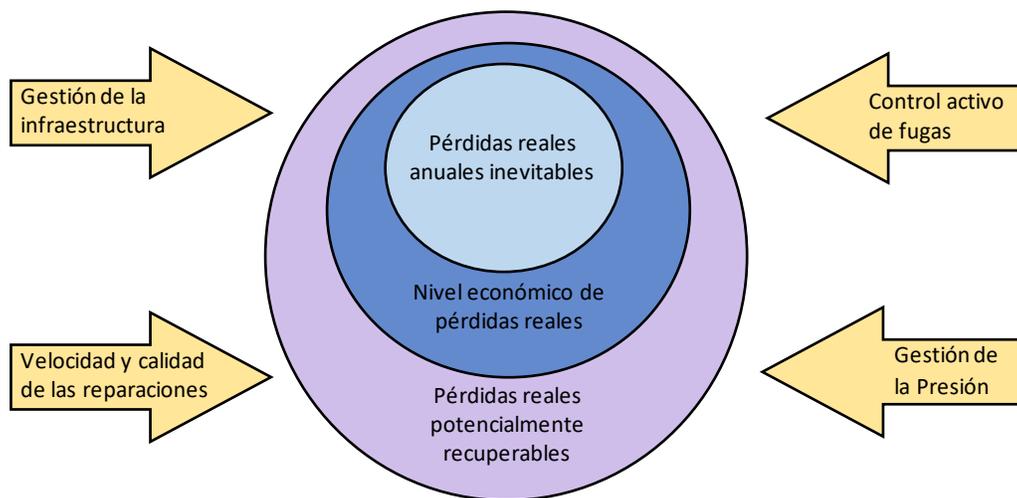


Figura N° 7: Métodos de intervención para pérdidas reales

Fuente: Guía para la reducción de pérdidas de agua–Giz. VAG

2.2.7.3. Impactos de las pérdidas reales

Se plantean que el objetivo principal de los sistemas de abastecimiento de agua es proveer agua potable de calidad y en cantidad adecuada a todos los clientes, con suficiente presión y en cualquier momento.

Los efectos negativos de las fugas se dividen en:

a. Impactos económicos

La pérdida de agua en su camino hacia el consumidor incurre en costos de explotación, tratamiento y transporte sin generar ningún ingreso para la empresa. La cantidad de agua pérdida puede proporcionarse nuevamente para satisfacer la demanda del cliente. Consecuentemente se deben incrementar las capacidades de las instalaciones técnicas.

b. Impactos técnicos

Los tubos de agua potable que fugan pueden incrementar las cargas sobre las aguas servidas municipales y/o los sistemas de recolección de agua de tormenta debido a infiltración, lo cual lleva a sobre-diseñar los tubos del alcantarillado. En consecuencia, las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden recibir agua adicional, lo cual genera costos de tratamiento adicionales.

c. Impactos sociales

Las fallas de abastecimiento, como la presión baja y las interrupciones del servicio al punto de suministro intermitente son los impactos más comunes sobre el cliente. Estos inconvenientes llevarán a la insatisfacción y a las quejas de los clientes y pueden afectar negativamente la voluntad de pago de los clientes.

Un mal suministro en combinación con estallidos frecuentes (visibles) de tubos afectará la reputación de la empresa y puede desencadenar mala publicidad.

d. Impactos ambientales

El manejo sostenible requiere que todos los recursos de aguas naturales se manejen económicamente. El agua contaminada ya es escasa en muchas regiones, pero incluso las regiones con cantidades abundantes de agua no tienen recursos infinitos.

La compensación de las pérdidas de agua incrementando más la extracción de agua pone más presión sobre los cuerpos de agua de superficie y subterráneos y esto es lo que los sistemas seguros de abastecimiento de agua evitarían.

2.2.8. Pérdidas aparentes

En las redes de suministro de agua sin medición consecuente de todo el sistema y con muchas conexiones ilegales, las pérdidas aparentes pueden representar cantidades significativas de agua. Las pérdidas aparentes están creando costos de producción sin generar ingreso para la empresa. Así, las pérdidas aparentes se pueden valorizar al costo de venta del agua y por lo tanto en muchos casos son las pérdidas más caras que pueda encontrar una empresa de agua. La reducción de las pérdidas aparentes de agua se puede lograr en muchos casos a costos relativamente bajos y por lo tanto es usualmente un buen punto de partida que devuelve rápidamente la inversión a la empresa de agua. (Thornton, Stum , & Kungel, 2008)

2.2.8.1. Clasificación

Estas pérdidas no se deben a fugas físicas en la infraestructura, sino son causadas por otros factores que podemos clasificar en:

a. Inexactitudes del medidor

Los medidores de los usuarios que erróneamente miden los volúmenes que pasan a través de ellos pueden ser fuente importante de pérdida aparente en sistemas de agua potable. Las mediciones de los usuarios proporcionan información importante sobre las tendencias de consumo para la planificación a largo plazo. Todos estos datos son muy importantes para llevar un control y manejo de las pérdidas. La experiencia en varios países muestra que un pequeño porcentaje de agua no se mide o se mide de manera incorrecta debido a errores de medición o a pérdidas crecientes en los medidores de agua.

b. Errores en el manejo de datos

Los medidores de los usuarios generan muchos datos sobre el consumo de los mismos. Las EPS manejan datos para miles de usuarios y por ello los errores de manejo de datos se presentan fácilmente por el enorme volumen de datos que se registran. Los errores que se presentan en la transferencia de datos son: Errores de lectura de medidores manuales y fallo del equipo automático de lectura de contadores. Así mismo se presentan errores en el análisis de datos causado por el uso de volúmenes estimados en lugar de lecturas reales de los medidores. Ajustes en la facturación de los clientes por la manipulación de los medidores.

c. Consumo no autorizado

Generalmente ocurre a través de acciones deliberada de los clientes u personas externas que toman agua del sistema sin tener que pagar por ello. El consumo no autorizado se produce de muchas maneras, incluyendo la manipulación de los medidores, apertura de las hidrantes conexiones ilícitas y otros medios. El consumo no autorizado se produce en la mayoría de los servicios públicos de agua potable.

2.2.8.2. Método de intervención para pérdidas aparentes

Del mismo modo que para las pérdidas reales también hay un conjunto de métodos de intervención disponibles para reducir el volumen de pérdidas aparentes hasta el punto de económico óptimo. Se mencionan cuatro métodos de intervención para las pérdidas aparentes.

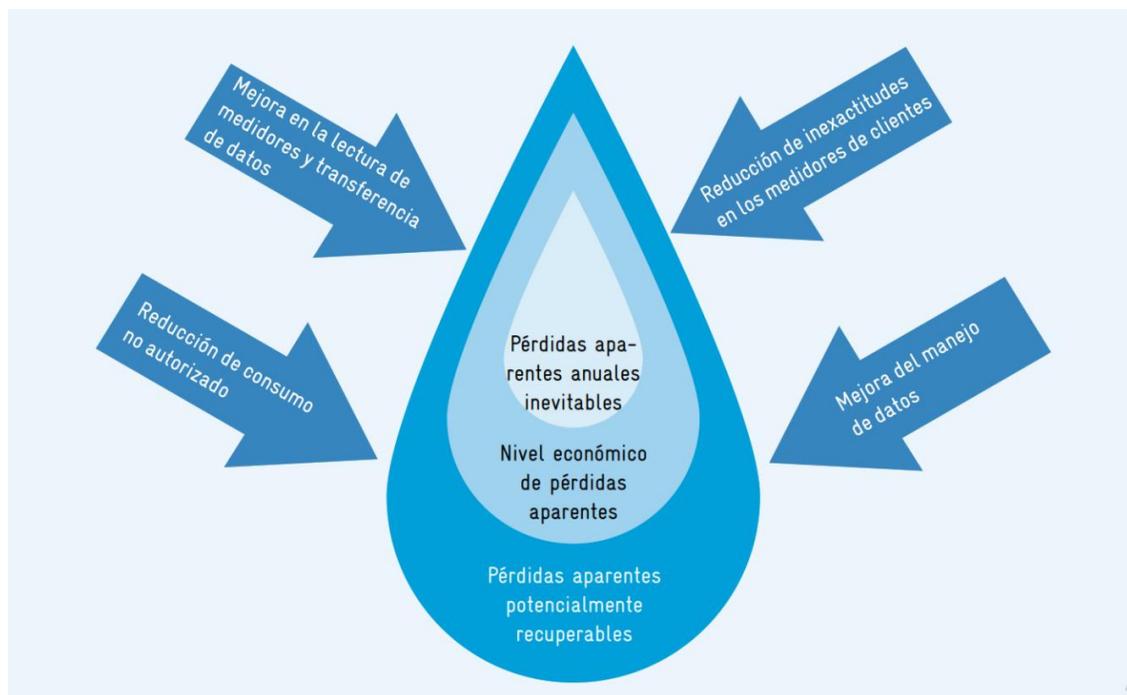


Figura N° 8: Métodos de intervención para pérdidas aparentes

Fuente: Guía para la reducción de pérdidas de agua–Giz. VAG

2.2.9. Definición de términos

- **Balance hídrico:** Es el resultado de comparar en un periodo definido, el volumen de agua que se ha suministrado a un sector de abastecimiento con el volumen de consumo medido de los usuarios del sector, en el mismo periodo de tiempo.

- **Índice Pérdidas (IP):** Es la diferencia entre el volumen de entrada al sistema y el consumo autorizado facturado, eso multiplicado por 100 y luego dividido entre el volumen de entrada al sistema, ésta representa el porcentaje de agua por la cual la EPS no percibe beneficio económico.
- **Macro medición:** Es el conjunto de acciones destinadas a conocer, determinar los caudales y volúmenes producidos y distribuidos en los sistemas de abastecimiento de agua, además del registro de los niveles de agua en los tanques de almacenamiento y presión en las tuberías de agua.
- **Micro medición:** Es el conjunto de acciones que permiten conocer los volúmenes de agua consumidos por los usuarios, la medición es la base para realizar la facturación, la instalación de estos busca el uso racional del agua además una cultura de pago y un sentido de responsabilidad hacia el usuario.
- **Fugas de agua:** Las pérdidas reales se constituyen de fugas, es la salida o escape del agua por una abertura, rajadura, grieta o en una mala conexión, se presentan en las tuberías de transmisión y distribución, en conexiones de servicio y en tanques de almacenamiento.
- **Pérdidas de agua:** Es el volumen de agua que se pierde entre el punto de suministro y el medidor del cliente debido a varias razones. Se puede expresar como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado y consiste de pérdidas aparentes y reales.
- **Tubería:** Son un sistema conformado por tubos, los cuales pueden ser de diversos materiales, los cuales cumplen la función de permitir el transporte del agua de manera eficiente, siguiendo normas establecidas. (Ticona & Quiróz, 2019)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

- **Tipo de Investigación**

Descriptivo

Esta investigación implica observar y describir situaciones de una zona del sistema de abastecimiento. Se debe realizar la recolección de datos de manera exploratoria, luego se realiza la descripción de los datos, el análisis de datos y la interpretación de los resultados.

Cuantitativo

La investigación se considera de tipo cuantitativo, ya que busca cuantificar la investigación en base a la formulación de hipótesis, recolección de los datos y el procesamiento de datos de las mediciones. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características de comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o de manera conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren.

3.2. Población y/o muestra de estudio

La población y muestra de estudio es la sub zona en la cual se realizará todo el estudio y análisis, la muestra a analizar está enmarcada dentro del sistema de abastecimiento de agua potable de la EPSA Cosaalt Ltda. la investigación consta de una población única de estudio, el sistema de abastecimiento de agua potable de la sub zona El Carmen Aranjuez. Ésta sub zona cuenta con 198 usuarios en total, comprendidas entre conexiones de categoría domésticas, comerciales y especial (conexiones con medidor y conexiones sin medidor).

3.3. Operacionalización de las Variables

Variable Independiente: índice de pérdidas

Indicadores

- Agua Facturada
- Agua no Facturada
- Caudal de Ingreso
- Pérdidas aparentes
- Pérdidas reales
- Porcentaje de índices de pérdidas

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Para recopilar la información se trabajó en conjunto con la EPSA Cosalt Ltda., a través de su unidad de reducción de agua no facturada quienes brindaron la información, para ello se realizaron entrevistas constantes con los diferentes encargados o responsables de dichas gerencias, a su vez se inspeccionó en dicha zona a diferentes usuarios (micromedidores), para verificar la veracidad de la información.

Se realizó un recorrido exploratorio por la red de distribución con personal de la unidad de reducción de agua no facturada (RANF) en el recorrido se hizo uso de una varilla acústica para detectar fugas no visibles, se pudo evidenciar la presencia de una fuga la cual fue reparada por el personal de la EPSA, también se observó medidores averiados, medidores enterrados, lo cual dificulta la lectura de los mismos, medidores que presentaban pequeñas fugas en la caja de registro, las cuales son difíciles de cuantificar.

3.4.1. Técnicas para la recolección de datos

Los datos obtenidos durante el proceso de la investigación se organizaron y procesaron de forma manual y digital con el propósito de presentar la información de manera ordenada, clara y sencilla.

Para procesar los datos se utilizó:

- Microsoft Excel 2016
- Software AutoCAD 2019
- Microsoft Word 2016
- Google Earth

3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos

- **Macromedidor de caudal tipo Woltman**

A diferencia de un micro medidor, un macromedidor es un aparato que mide el caudal de agua producida para la ciudad o para un sector de ella. Están localizados a las entradas y salidas de las plantas de tratamiento y miden el caudal de agua a tratar y el agua potable suministrada a la ciudad, o a un sector de la población, el cual se aísla para medir el consumo durante un tiempo determinado.

Los medidores tipo Woltman, están diseñados para medir caudales con una mínima pérdida de carga, ofreciendo alta confiabilidad y exactitud de funcionamiento por un largo tiempo de uso. La medición es por medio de una turbina plástica que gira proporcionalmente a la velocidad del flujo. La turbina está instalada en el centro del flujo lo cual permite mayor exactitud en la medición. El diseño y construcción de las partes móviles aseguran una larga vida útil del medidor. Diseñados y producidos de acuerdo a los requisitos de la norma Internacional ISO 4064 Clase B, su unidad de medida es m^3/h . Los contadores tipo woltman pueden también suministrarse con emisores de pulsos eléctricos cada 1 ó $10 m^3$ para ser conectados a programadores y automatismos. (www.dorot.com, 2019)

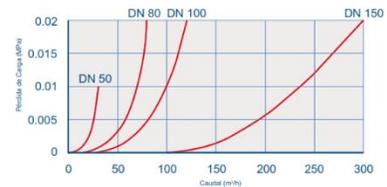
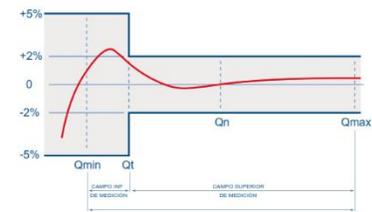


Figura N° 9: Macromedidor LXCL-100 H₂ Olé de caudal tipo Woltman

Fuente: <https://www.flowran.com>

Modelo		LXCL-50	LXCL-80	LXCL-100	LXCL-150
Diámetro Nominal (DN)	in	2"	3"	4"	6"
	mm	50	80	100	150
Clase metrológica		B	B	B	B
Caudal máximo (Qmax)	m ³ /h	30	80	120	300
Caudal nominal (Qn)	m ³ /h	15	40	60	150
Caudal transición (Qt)	m ³ /h	3	8	12	30
Caudal mínimo (Qmin)	m ³ /h	0,45	1,2	1,8	4,5
Máxima pérdida de carga en CNO	MPa	0,01	0,02	0,02	0,02
Error máximo admisible	campo sup.	± 2			
	campo inf.	± 5			
Lectura del mostrador	máx. m ³	9.999.999		99.999.999	
	min. m ³	0,002		0,02	
Presión operacional	bar	16			
Temperatura operacional	°C	50			

Curvas de error y pérdida de carga:

**Figura N° 10: Especificaciones técnicas Macromedidor LXCL-100 H₂Olé**Fuente: <https://www.flowran.com>

- **Data logger**

Un datalogger es un instrumento que tiene la capacidad de registrar información para posteriormente ser captada desde el punto de instalación para ser procesada e interpretada. La dataloggers pueden se pueden diferenciar por su forma de transmisión o de descarga de datos. Estos se diferencian en portátiles y con telemetría.

**Figura N° 11: Dataloggers Multilog® LX 2**Fuente: <https://redes.mejoras-energeticas.com>

Los Data Loggers son el "caballo de batalla" de los instrumentos de grabación, grabando durante días, semanas o incluso años a la vez, registrando incansablemente millones de puntos de datos durante períodos prolongados de tiempo. Este proceso se conoce comúnmente como registro de datos.

El Multilog® LX 2 es un registrador de datos multicanal de elevadas prestaciones, cuya versatilidad permite la monitorización de caudales, presiones, señales analógicas, dispositivos MODBUS y SDI12, SONICSENS, etc. y su envío a un puesto central utilizando tecnología GPRS o 3G. Los datos pueden ser transmitidos a un puesto central y visualizados desde cualquier dispositivo con acceso a Internet. Dispone además de 2 salidas que le permiten controlar dispositivos en función de los valores registrados. Su electrónica de bajo consumo permite una larga vida de la batería incluso con más de una transmisión diaria.

- **Micromedidores**

Estos aparatos están constituidos por una carcasa, generalmente de bronce, dentro de la cual hay una serie de elementos que estando en contacto o no con el agua registran y transmiten a un fichero de números, el volumen que atraviesa por el aparato. Ambos, por decirlo así, son técnicas de medición que tienen ventajas y desventajas.



Figura N° 12: Micro medidor Marca LAO

Fuente: Página Web oficial de productos Lao

Los medidores de velocidad pueden desempeñarse muy bien con aguas de baja calidad, no tanto así los de tipo volumétrico, aunque estos últimos podrían tener una mayor exactitud.

Lo importante es someterlos periódicamente a pruebas de precisión en talleres especializados y proceder, a su mantenimiento o reposición dado el caso, sin dejar de perder el punto de vista de su importancia dentro del esquema financiero del acueducto. Se estima que un medidor debe cambiarse cuando registre un volumen acumulado de entre 2 500 y 3 000 metros cúbicos (m³), lo cual equivale a nueve (9) años de estar instalado para medir el volumen en una vivienda o establecimiento.

- **Errores de indicación en medidores de agua**

La determinación de los errores de indicación de un medidor de agua, se realizan por medio de la comparación entre la indicación del volumen de un medidor con el valor indicado de un recipiente volumétrico patrón.

Los errores de indicación encontrados permitirán establecer si un medidor de agua está operando dentro de los errores máximos permisibles (EMP), de acuerdo con la siguiente relación:

Zona inferior de medición:

$$Q_1 \leq Q < Q_2 \quad \text{EMP: } \pm 5\%$$

Zona superior de medición:

$$Q_2 \leq Q < Q_3 \quad \text{EMP: } \pm 2\%$$

Donde:

Q₁: Caudal mínimo

Q₂: Caudal de transición

Q₃: Caudal permanente

Para fines de determinación de los errores de indicación, la curva de error de un medidor de agua se presenta en la figura 13.

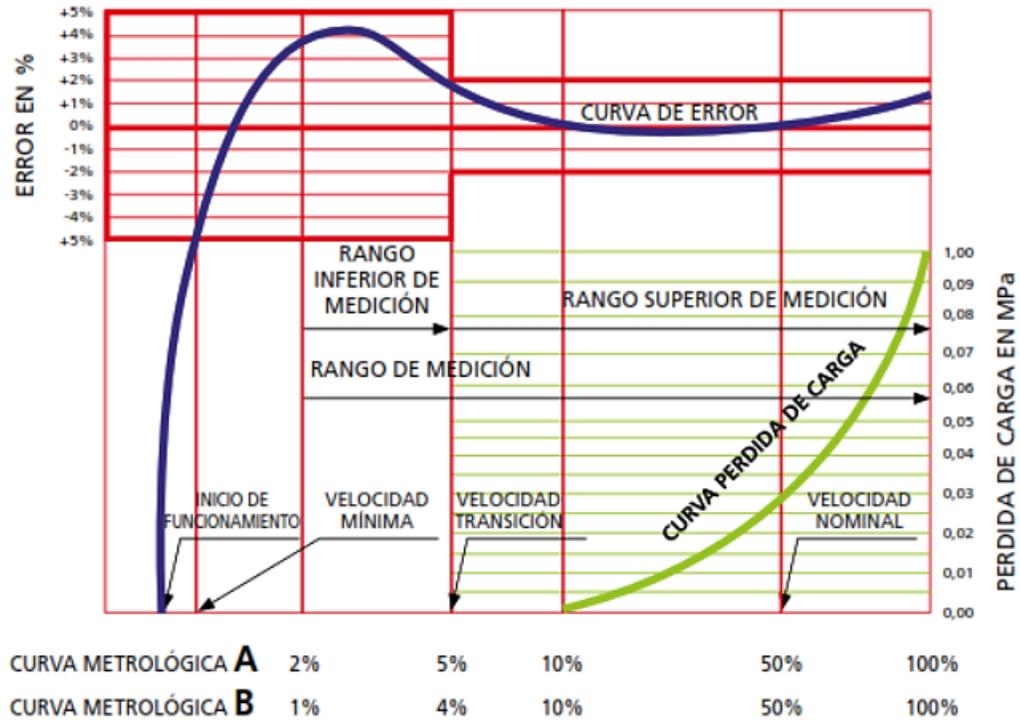


Figura N° 13 Curva de error de un medidor de agua

Fuente: <https://www.ibmetro.gob.bo>

Se puede apreciar que esta curva tiene dos zonas de medición: Una zona inferior y una zona superior.

La curva de error se define por medio de los caudales del medidor, en general, caudal mínimo (Q_1), caudal de transición (Q_2), caudal permanente (Q_3) y caudal de sobrecarga (Q_4) Vs. $E\%$.

Caudal mínimo (Q_1): Caudal a partir del cual el medidor empieza a proporcionar indicaciones de volumen.

Caudal de transición (Q_2): Caudal que divide en dos zonas de medición el comportamiento del medidor, cada una de estas zonas se caracteriza por un error máximo permisible distinto.

Caudal permanente (Q_3): Caudal en el cual el medidor opera de manera satisfactoria y permanente bajo las condiciones de uso a flujo uniforme y/o intermitente.

Caudal de sobrecarga (Q_4): Caudal en el cual el medidor opera satisfactoriamente por ciertos periodos cortos de tiempo sin deteriorarse.

El error de medición de un medidor no es constante, depende del caudal que circula a través del medidor. Hasta la fecha, las publicaciones existentes y los fabricantes únicamente se han limitado a publicar el error de medición a los caudales que marca la Norma ISO 4064 (curva de error), pero este dato en sí mismo no ofrece una información completa acerca del desempeño del medidor. Lo realmente trascendental es poder llegar a conocer el porcentaje del volumen de agua que el medidor no es capaz de registrar en un determinado usuario, es decir, su error global.

Este volumen de agua no facturada dependerá lógicamente de la capacidad de medición del medidor a distintos caudales, pero también dependerá de las características de consumo del usuario (porcentaje del volumen consumido a diferentes caudales), es lo que se conoce como patrón de consumo. A veces no es posible determinar el patrón de consumo de todos y cada uno de los usuarios de un abastecimiento. Lo que se suele hacer es realizar un estudio estadístico sobre una muestra representativa de los usuarios.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Metodología para el cálculo del balance hídrico

Mediante el procedimiento propuesto por la asociación internacional del agua, (con sus siglas en Ingles IWA), establecido en la guía para la reducción de pérdidas de agua.

Para poder analizar el porcentaje de Índice de Pérdidas en la sub zona El Carmen Aranjuez de la ciudad de Tarija, partimos con realizar un balance hídrico del sistema de abastecimiento.

Cuando se elabora el cálculo del balance hídrico, es importante tener en cuenta que la exactitud de los volúmenes de pérdidas de agua dependerá de la exactitud en la recolección de datos que se realizará. Así mismo es necesario el diseño de una hoja de cálculo para realizar los cálculos del balance hídrico. Se tendrá en cuenta los siguientes datos para hallar el porcentaje de pérdidas.

VOLUMEN DE INGRESO AL SISTEMA Q_I	Consumo Autorizado Q_A	Consumo Autorizado facturado Q_{AF}	Consumo facturado medido	AGUA FACTURADA	
			Consumo facturado no medido		
		Consumo Autorizado no facturado Q_{ANF}	Consumo no facturado medido	AGUA NO FACTURADA	
			Consumo no facturado no medido		
	Pérdidas de agua Q_P	pérdidas aparentes Q_{PA}	Consumo no autorizado		AGUA NO FACTURADA
			Inexactitudes de los medidores		
		Pérdidas reales Q_{PR}		Fugas en tuberías de aducción y distribución	
				Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente	

Tabla N° 4: Balance Hídrico propuesto por el IWA

Fuente: Guía de reducción de agua potable

3.5.2. Ejecución paso a paso del balance hídrico

Detallamos los pasos para el cálculo hídrico según metodología IWA:

- **Determinación del volumen de ingreso del sistema Q_I**

Se tiene que identificar el conducto de ingreso de agua al sector, para luego calcular el volumen total, utilizando las mediciones tomadas del medidor de flujo principal (macromedidor).

- **Determinación / estimación del consumo autorizado facturado Q_{AF}**

Identificamos a todos los usuarios registrados, por medio del padrón de facturación de los usuarios del sector, para determinar con ello el consumo autorizado facturado.

Se registra el consumo de los clientes con micro medición y los clientes facturados por asignación que no cuentan con medidores de agua.

- **Determinación / estimación del consumo autorizado no facturado Q_{ANF}**

Se tiene que determinar por medio de una estimación apropiada; en primera instancia, todos los usuarios tienen que ser identificados, estos pueden ser viviendas, edificios municipales, parques, servicios de bomberos, reservorios de agua o áreas de barrios marginales. Se debe hacer un estimado del consumo para cada grupo de usuario, en algunos casos, se puede realizar pruebas en una investigación de campo.

Finalmente, se tiene que identificar el volumen de agua utilizado por la empresa prestadora del servicio de agua para propósitos operativos (limpieza de tuberías, lavados, etc.); se debe realizar una estimación en el caso de no contar con valores medidos.

- **Cálculo del consumo autorizado $Q_A = Q_{AF} + Q_{ANF}$**

El consumo autorizado Q_A puede calcularse sumando el consumo autorizado facturado Q_{AF} y el consumo autorizado no facturado Q_{ANF} . Las pérdidas totales de agua Q_P se puede calcular luego de $Q_I - Q_A$.

- **Estimación de las pérdidas aparentes Q_{PA}**

Estimar las pérdidas aparentes V_{PA} es bastante complicado y está sujeta a un alto grado de incertidumbre; se debe desglosar las pérdidas aparentes en sus componentes para lograr un estimado conveniente. En primera instancia, se tiene que estimar el consumo no autorizado, esto se puede realizar ya sea consultando registros anteriores o conduciendo una investigación casa por casa dentro de una zona muestral, luego se debe estimar las pérdidas debido a la inexactitud de la micro medición y errores en el manejo de los datos.

- **Cálculo de las pérdidas reales $Q_{PR} = Q_P - Q_{PA}$**

Finalmente, las pérdidas reales de agua V_{PR} se pueden calcular restando las pérdidas aparentes Q_{PA} de las pérdidas de agua generales Q_P .

El resultado del cálculo del balance hídrico será un estimado para las pérdidas de agua globales reales Q_{PR} . Las pérdidas de agua pueden ser desglosadas más aún en los

diferentes componentes del sistema, utilizando los resultados del proceso de evaluación y cuantificación de las pérdidas de agua reales.

El balance hídrico se basa en una serie de estimaciones. Por consiguiente, la confiabilidad y exactitud de la información deberá ser evaluada de manera crítica. Esto puede realizarse a través del método del límite de confianza de 95%.

3.5.3. Límite de confianza del 95%

El balance hídrico al estar basado en estimaciones ya sea para determinar las pérdidas aparentes y reales del sistema, crean un clima de incertidumbre, los errores durante la estimación o determinación pueden llevar a una estrategia no apropiada para reducir las pérdidas de agua. Por lo tanto, es conveniente evaluar críticamente los resultados del balance hídrico; un enfoque práctico para afrontar con la incertidumbre es tratar de cuantificarla, el uso del límite de confianza de 95% se ha establecido como una forma para evaluar el grado de incertidumbre de cada uno de los componentes del balance hídrico.

- **Bandas de exactitud**

Es un ámbito definido, mediante consideraciones estadísticas en el que se puede acentuar un valor real con cierto grado de probabilidad. Para establecer las bandas de exactitud, debe tomarse en cuenta los datos tanto sobre la confiabilidad como sobre la exactitud.

- **Límite de confianza del 95%**

Esta expresa que el valor real se encuentra dentro de la banda de exactitud definida con una probabilidad del 95%. En términos estadísticos, esto significa que el 95% de las observaciones se encuentran situadas en una zona alrededor del valor promedio con una desviación estándar (s) de $\pm 1,96$.

- **Procedimiento de trabajo**

1. Estimación de bandas de exactitud para cada componente del balance hídrico

Para cada valor medido y estimado del balance hídrico, debe definirse una banda de exactitud. En la siguiente tabla se muestra ejemplos sobre la relación entre el origen y la exactitud de los datos:

Origen de los datos	Descripción	Banda de exactitud
Volúmenes medidos	Agua que ingresa al sistema, consumo medido, exportación medida.	+/- 0,1 a 2,0%
Volúmenes estimados	Consumo no medido, pérdidas aparentes.	+/- 5 a 50%
Volúmenes derivados	Agua no facturada, pérdidas reales	Depende de la exactitud de los datos de entrada medidos estimados

Tabla N° 5: Estimación de bandas de exactitud para cada componente del balance

Fuente: Guía para la reducción de las pérdidas de agua

2. Determinación de la desviación estándar para cada componente del balance hídrico

La desviación estándar se calcula para cada componente esto se realiza de la siguiente forma:

$$\sigma = \frac{Q * BE}{1,96}$$

σ = Desviación estándar.

Q = Componente del balance hídrico en m³

BE = Banda de exactitud del componente.

3. Determinación de la varianza de cada componente del balance hídrico

La varianza para cada componente se calcula como sigue:

$$V = \sigma^2$$

V = Varianza.

σ = Desviación estándar.

CAPÍTULO IV

ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DEL AGUA NO FACTURADA

4.1. Generalidades

La elaboración del Balance Hídrico consistió en efectuar un reconocimiento de los elementos que son necesarios para su desarrollo, basándonos en la contabilización y estimación de porcentajes de pérdidas de agua potable ya sea por pérdidas reales de la empresa y pérdidas aparentes que se experimenta en la zona que generan una reducción a la continuidad del servicio a la población del sector, una disminución volumétrica respecto a la producción y una pérdida económica activa que afecta a la empresa prestadora del servicio.

El análisis se desarrolló a lo largo del sistema de distribución de agua potable de la sub zona El Carmen Aranjuez, para la especificación de pérdidas reales o aparentes. De este modo se procedió a elaborar un inventario de pérdidas que nos permita recolectar información sobre las pruebas predominantes en el estudio, como son: lecturas de macro medición, inspección de la sub zona, análisis de sub medición en micro medición y detección de conexiones irregulares.

4.2. Definición de la Sub Zona de Estudio (El Carmen Aranjuez)

La identificación de la zona de estudio se realizó evaluando los siguientes factores:

- Número de usuarios
- Continuidad del servicio.
- Presión del servicio.
- Existencia de información de las características de la red.
- Existencia de aislamiento.

La sub zona El Carmen Aranjuez es una de las zonas de expansión de la ciudad, también es importante indicar que es uno de los proyectos piloto para la reducción del ANF por parte de la EPSA Cosaaalt Ltda.

En la siguiente tabla se muestra información de los factores de evaluación identificados a través de la información obtenida.

FACTORES	CARMEN ARANJUEZ
Número de conexiones	198
Conexiones activas	175
% Usuarios	100%
Edad de la red	3-25 años
Longitud de la red	5848,15 m
Existencia de Aislamiento	si
Número de ingreso de flujo al sector	1
Número de medidores leídos	129
Nivel de micro medición (%)	65,15%
Continuidad del servicio (horas/día)	24
Presión de servicio (m.c.a.)	19,08
Accesibilidad	si

Tabla N° 6: Factores de Representatividad para la identificación de la sub zona

Fuente: EPSA Cosaalt Ltda.

Para aplicar todas las metodologías y estrategias planteadas a la elaboración de un balance hídrico, enunciadas anteriormente en el presente proyecto, es necesario que el sector a estudiar, además de contar con cierto aislamiento (fronteras del sector), debe contar con un nivel de continuidad y presión superior a 15 horas y 18 m.c.a., respectivamente. Sin estos niveles de calidad de servicio, los medidores domiciliarios presentarían registros erróneos de los volúmenes consumidos, lo que no permitiría realizar los balances necesarios para cuantificar las pérdidas de agua.

4.2.1. Ubicación

La sub zona El Carmen Aranjuez se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad de Tarija, provincia Cercado, departamento de Tarija. La mayoría de los predios en este sector son destinados para vivienda, por lo que es una zona representativa de los sectores domésticos.

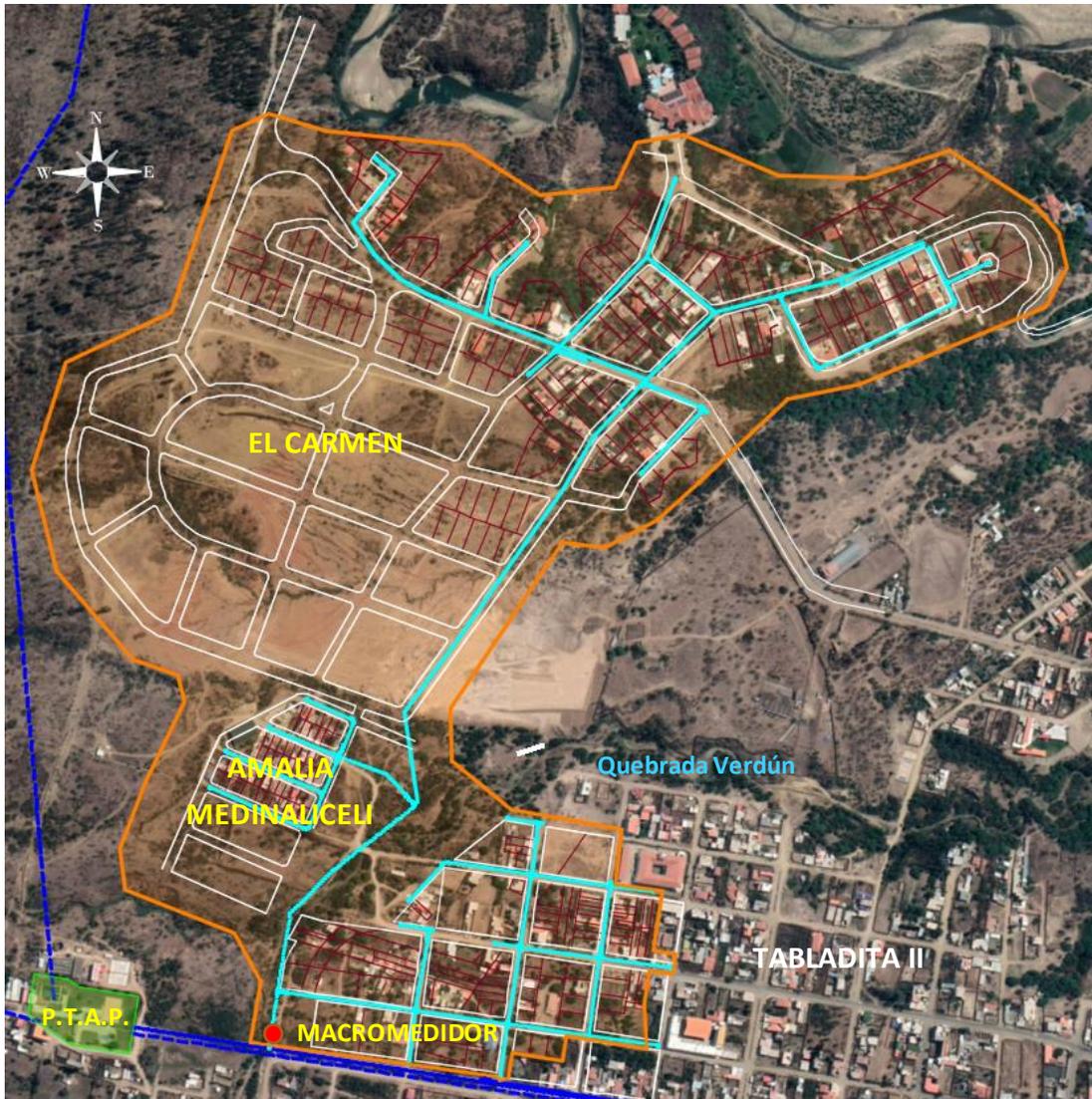


Figura N° 14: Sectorización de la sub zona El Carmen Aranjuez

Fuente: Catastro operacional de la EPSA Cosaalt

4.2.2. Límites

La zona en estudio se halla delimitado por el norte con el río Guadalquivir por el Sur se encuentra el límite del barrio Tabladita II; al este se ubica el barrio San Antonio y por el Oeste limita con la Comunidad de obrajes.

4.2.3. Red de Distribución de Agua

La sub zona El Carmen Aranjuez cuenta con una red de distribución de agua de una longitud total de 5848,15 m, conformada por:

Diámetros (Pulg)	Tipo Tubería	Longitudes (m)		
		Red	Ampliación	Total
4	PVCC-9	1041,00		1041,00
3	PVCC-9		62,28	62,28
2	PVCC-9	2142,32	2208,80	4351,12
1,5	PVCC-9	393,75		393,75
Longitud Red				5848,15

Tabla N° 7: Red de distribución de agua

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo informado por la Gerencia de Operaciones de la EPSA Cosalt Ltda. este sector requiere identificar algunas líneas de tuberías y/o válvulas para independizar totalmente a nivel de subsector, y que podría interferir en la obtención de un balance hídrico confiable.

4.2.4. Condiciones de control de servicio

El agua que proviene a la sub zona de El Carmen Aranjuez proviene de la planta de tratamiento La Tabladita ubicada en la zona de La Tabladita, construida en los años 1989-1990, es de tipo convencional, con una capacidad nominal de 160 l/s.

El proceso de tratamiento se inicia en el desarenador que está localizado 1 095 m antes de llegar a la planta de tratamiento. Este desarenador es un depósito rectangular de L=14 m, A=5,0 m y H=3,0 m; construido con mampostería de piedra y revoque de cemento. A la entrada tiene un dissipador de energía que permite redireccionar el flujo y disminuir su velocidad. La diferencia de nivel desde el desarenador hasta la planta es de 97 m.

A la fecha está en buenas condiciones de funcionamiento en sus estructuras principales, siendo la gran limitación la poca capacidad de tratamiento ya que en periodos de diciembre a mayo ingresa agua en mayor cantidad por existir en la fuente.

4.2.5. Macro medición

La macro medición posee objetivos operativos (determinar los caudales entregados) y comerciales (para controlar las actividades de lectura y facturación), ésta información es

necesaria para lograr reducir el ANF. Las inversiones en macro medición deben responder a una racionalidad económica, dado que no genera un beneficio distinto al control del sistema, el análisis económico debe ser del tipo costo/beneficio (Jiménez Aldana, 2002).

Los Macro medidores son diseñados para medir caudales mayores a los que proporcionan el diámetro de los micromedidores. Se utilizan para determinar los caudales entregados por los sistemas de producción a los sistemas de transporte y a los diferentes Sectores Hidráulicos.

De ésta manera encontramos la instalación de macro medidores en los sistemas de captación de Agua Cruda para tratamiento de plantas potabilizadoras y en las distintas salidas de las plantas, con los cuales por diferencias se determinan las pérdidas de producción en las plantas y complementariamente la eficiencia productiva.

De la planta de tratamiento La Tabladita descende una tubería de $\text{Ø } 10''$ la cual se reparte en dos, una hacia el barrio Tabladita y otra al barrio El Carmen Aranjuez con una tubería de PVC, en la cual se instaló de macromedidor marca H₂ Olé de $\text{Ø } 4''$.

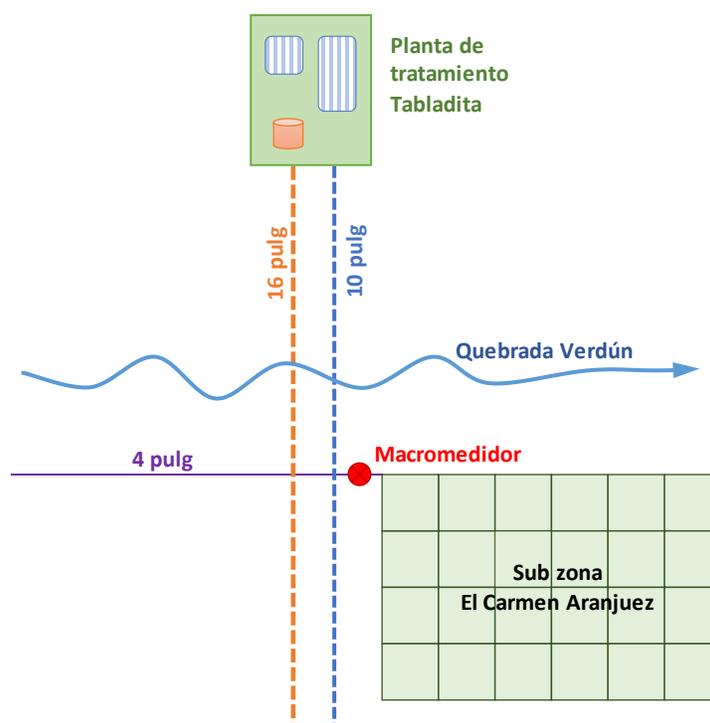


Figura N° 15: Esquematzación de la sub zona y ubicación del macromedidor

Fuente: Elaboración propia

4.2.6. Micro medición

Estos aparatos son muy importantes en un sistema de acueducto, pues constituyen el corazón de sus finanzas. Basados en los consumos medidos a los usuarios, la empresa de acueducto de la población puede recuperar, aplicando unas tarifas costeables, los gastos que demanda su administración, operación, mantenimiento y ampliación.

4.2.6.1. Caracterización de medidores sub zona El Carmen Aranjuez

Uno de los principales inconvenientes que tiene Cosaalt para controlar el consumo y desperdicio por parte de los usuarios es la baja cobertura en la micro medición.

Sin embargo, en la Memoria anual 2011 Cosaalt reporta que incrementó la cobertura de medición de un 66% anterior a un 72%, lo que resulta que había el año 2011 un total de 22 522 conexiones domiciliarias que poseen medidor de consumo. Un problema que no ha sido posible solventar aún es la adquisición de cajas de fierro fundido que protege al micromedidor.

Con la información residente en el sistema, se obtuvo la siguiente información del catastro de medidores del barrio El Carmen Aranjuez.

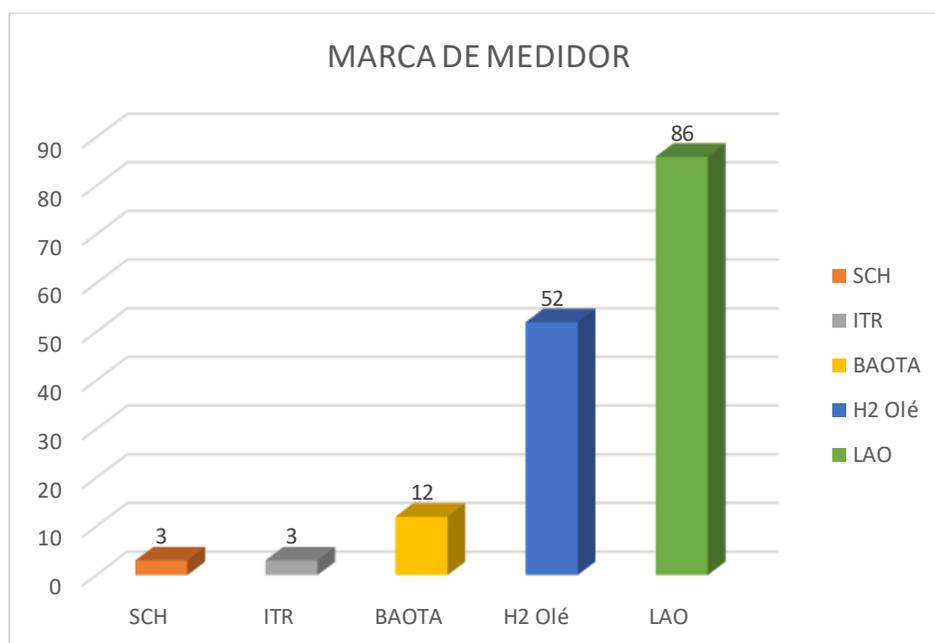


Figura N° 16: Marca de los medidores

Fuente: Base de datos Cosaalt Ltda.

En la figura 16 se puede apreciar que el 55% de los medidores instalados en la sub zona El Carmen Aranjuez pertenece a la marca LAO y el 33% pertenece a la marca H₂ Olé, siendo estas dos (2) marcas las más representativas de esta sub zona.

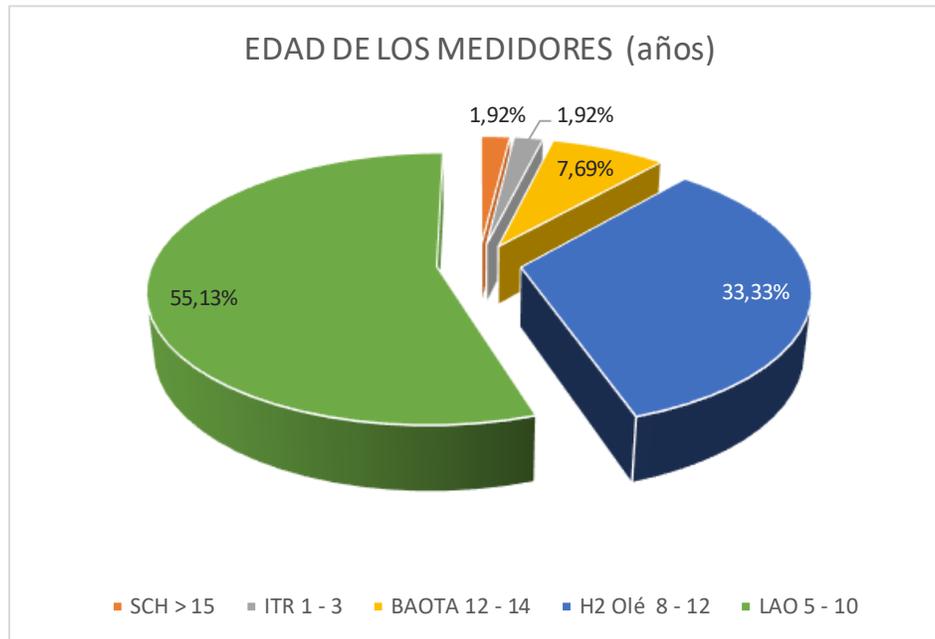


Figura N° 17: Edad de los medidores en la sub zona

Fuente: Elaboración propia

En la relación con la edad de los medidores se tiene que el 43% de ellos tiene más de 10 años y el 57% tiene entre 1 y 9 años. Esto demuestra el grado de obsolescencia de los algunos aparatos de medida, pero en su mayoría son aparatos que se encuentran en buenas condiciones.

4.3. Componentes del balance hídrico

4.3.1. Volumen distribuido al sistema (Q_I)

El volumen de ingreso a la sub zona se ha obtenido de la Gerencia de Reducción de Agua No Facturada a través de los datos registrados en el Data Logger, que utilizan para esta actividad.

a. Descripción

- El volumen de ingreso la sub zona El Carmen Aranjuez proviene de una tubería de Ø 10" que baja de la planta de tratamiento La Tabladita, de la cual se separa por una

tubería de Ø 4" de diámetro que ingresa a la sub zona.

b. Fuente de información

- El Caudal (m^3/h) es generado por un macromedidor tipo Woltman, marca H₂ Olé de Ø 4" ubicado en la línea de conducción a la entrada al barrio en estudio.

REGISTRO DE VOLÚMENES DE INGRESO AL SISTEMA (m^3)													
Fecha / Hora	00:00:00	00:05:00	00:10:00	00:15:00	00:20:00	00:25:00	00:30:00	00:35:00	00:40:00	00:45:00	00:50:00	23:55:00
1 de diciembre de 2018	0,333	0,417	0,333	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417		0,583
2 de diciembre de 2018	0,667	0,500	0,583	0,500	0,500	0,417	0,500	0,500	0,417	0,500	0,500		0,417
3 de diciembre de 2018	0,583	0,500	0,417	0,500	0,500	0,417	0,500	0,417	0,500	0,417	0,500		0,417
4 de diciembre de 2018	0,417	0,500	0,417	0,417	0,500	0,417	0,500	0,500	0,417	0,417	0,417		0,500
5 de diciembre de 2018	0,500	0,500	0,500	0,500	0,417	0,417	0,417	0,500	0,333	0,417	0,417		0,417
6 de diciembre de 2018	0,500	0,417	0,500	0,417	0,417	0,500	0,417	0,500	0,417	0,417	0,500		0,667
7 de diciembre de 2018	0,750	0,667	0,750	0,667	0,583	0,583	0,667	0,583	0,583	0,500	0,583		0,500
8 de diciembre de 2018	0,500	0,583	0,500	0,500	0,500	0,500	0,583	0,500	0,500	0,583	0,500		0,833
9 de diciembre de 2018	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,750	0,750	0,667	0,667	0,667	0,667		0,833
10 de diciembre de 2018	0,833	0,750	0,833	0,750	0,750	0,750	0,750	0,667	0,750	0,750	0,667		0,583
11 de diciembre de 2018	0,583	0,500	0,500	0,583	0,500	0,500	0,583	0,500	0,500	0,500	0,500		0,917
12 de diciembre de 2018	0,917	0,917	0,833	0,917	0,833	0,833	0,833	0,750	0,667	0,667	0,750		0,667
13 de diciembre de 2018	0,750	0,750	0,833	0,750	0,833	0,750	0,833	0,750	0,667	0,667	0,667		0,833
14 de diciembre de 2018	0,667	0,750	0,583	0,667	0,667	0,583	0,583	0,583	0,500	0,583	0,583		0,750
15 de diciembre de 2018	0,750	0,750	0,750	0,833	0,667	0,750	0,750	0,750	0,667	0,750	0,667		0,667
16 de diciembre de 2018	0,750	0,667	0,667	0,583	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667		0,750
17 de diciembre de 2018	0,750	0,667	0,667	0,667	0,833	0,667	0,667	0,667	0,583	0,583	0,583		0,500
18 de diciembre de 2018	0,417	0,500	0,417	0,417	0,417	0,500	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417		0,500
19 de diciembre de 2018	0,500	0,500	0,500	0,417	0,500	0,417	0,500	0,417	0,500	0,417	0,417		0,583
20 de diciembre de 2018	0,417	0,500	0,500	0,500	0,417	0,500	0,417	0,500	0,500	0,417	0,500		0,500
21 de diciembre de 2018	0,500	0,500	0,417	0,500	0,417	0,500	0,500	0,417	0,417	0,500	0,417		0,500
22 de diciembre de 2018	0,583	0,583	0,583	0,583	0,500	0,500	0,500	0,583	0,500	0,583	0,500		0,583
23 de diciembre de 2018	0,667	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,667	0,583		0,583
24 de diciembre de 2018	0,583	0,583	0,583	0,583	0,583	0,667	0,667	0,583	0,583	0,500	0,500		0,500
....													
31 de diciembre de 2018	0,667	0,667	0,583	0,667	0,583	0,583	0,667	0,583	0,583	0,583	0,583		0,750

Tabla N° 8: Registro de volúmenes de ingreso al sistema

Fuente: Datos registrados en el Macromedidor de Ø 4"

- El registro se obtiene de manera automática con el Datalogger debido a que se puede conectar a cualquier medidor con salida de pulsos para iniciar el registro de datos de forma inmediata con una capacidad de almacenamiento muy amplia.

c. Cálculo de volumen de agua en un archivo Excel.

- De los datos de caudal proporcionados por el logger se calcula el volumen de ingreso en m^3 cada intervalo de tiempo (cinco minutos), luego se suman los volúmenes calculados y obtenemos en volumen de ingreso diario (en 24 horas).
- Se calcula el volumen de entrada al sistema en m^3 , mediante la suma de los volúmenes calculados (en todo el mes), y esto durante los 12 meses de estudio.

Meses	Caudales		Volumen mes
	m ³ /hora	l/s	m ³
Mes de diciembre 2018	10,15	2,82	7552,17
Mes de enero de 2019	10,33	2,87	7684,08
Mes de febrero de 2019	10,06	2,80	6763,08
Mes de marzo de 2019	8,89	2,47	6616,50
Mes de abril de 2019	9,43	2,62	6787,25
Mes de mayo de 2019	10,29	2,86	7654,42
Mes de junio de 2019	14,12	3,92	10166,25
Mes de julio de 2019	13,35	3,71	9929,75
Mes de agosto de 2019	13,67	3,80	10173,08
Mes de septiembre de 2019	14,01	3,89	10084,33
Mes de octubre de 2019	13,34	3,71	9926,25
Mes de noviembre de 2019	11,18	3,11	7354,33
Totales	11,57	3,21	100691,50

Tabla N° 9: Volumen proveniente al sub zona El Carmen Aranjuez

Fuente: Datos registrados en el Macromedidor de Ø 4”

INGRESO	Volumen de entrada al sistema
Límite del sistema	A partir de la entrada de la tubería de PVC a la sub zona
Periodo	2018-2019
Subcomponente	Volumen de ingreso a la sub zona
Explicación	1- La fuente de abastecimiento de la sub zona es la proveniente de una tubería de 10" de diámetro, que es abastecida directamente de la planta de tratamiento. La Tabladita 2-Según el registro volumétrico medido al ingreso del sistema para el periodo (dic del 2018 a nov del 2019), se genera un caudal promedio de 11,57 m ³ /h.
Variables	1- Caudal (m ³ /h)
Fuente de información	1.-El volumen (m ³) es generado por un Macromedidor. Tipo Woltman, marca H ₂ Ole Ø 4" operativo, en la red primaria de ingreso a la sub zona El Carmen Aranjuez. 2.-El registro se obtiene de manera automática a través de un aplicativo.
Cálculo del volumen de agua	En un archivo Excel. 1-Se calcula el caudal diario, mediante el promedio de caudales horarios (en 24 horas). 2-Se calcula el volumen de entrada al sistema en m ³ , mediante la suma de los caudales diarios (en todo el mes), durante los 12 meses de estudio.

Sustento	Fuente de datos " Altamente confiable " 1-El macromedidor se encuentra en buen estado de conservación y operación. 2-El cálculo del volumen mensual se realiza de manera correcta a través de Excel
Valor	100691,50
Margen de error	1%
Desviación estándar	513,73
Varianza	263920,71
Valor	100691,50

Tabla N° 10: Resumen del volumen de entrada a la sub zona

Fuente: Elaboración propia

El nivel de confianza con el que se trabajo es del 95%, tomando como valor del nivel de confianza de 1,96 para los cálculos.

4.3.2. Consumo autorizado (Q_A)

Volumen total anual de agua medida y no medida tomada por clientes registrados, la empresa de agua y otras instituciones debidamente autorizadas de hacerlo para propósitos domésticos, comerciales e industriales.

RESUMEN DE CONSUMO AUTORIZADO	TOTAL
Consumo facturado medido	49455 m ³
Consumo facturado no medido	12739,44 m ³
Consumo autorizado facturado Q_{AF}	62194,44 m³
Consumo no facturado medido	416 m ³
Consumo no facturado no medido	54 m ³
Consumo autorizado no facturado Q_{ANF}	470 m³
Consumo autorizado Q_A	62 664,44 m³

Tabla N° 11: Componentes de Consumo Autorizado

Fuente: Elaboración propia

Esta parte del balance hídrico está comprendida por el Consumo Autorizado Facturado y el Consumo Autorizado no Facturado, la desarrollo de estas se muestra a continuación:

4.3.2.1. Consumo autorizado facturado (Q_{AF})

Para la determinación del volumen autorizado facturado mensual, se obtuvo la información de la base de datos de la Gerencia Comercial, el cual se clasificó de acuerdo el tipo de facturación de los meses de diciembre del 2018 a noviembre del 2019, lo cual se detalla en la siguiente tabla.

Meses	CON MEDIDOR			SIN MEDIDOR		VOLUMEN TOTAL FACTURADO (m ³)
	Doméstica A (m ³)	Comercial (m ³)	Consumo facturado medido (m ³)	Consumo promedio (m ³)	Consumo facturado no medido (m ³)	
Dic-18	2553,00	1142,00	3695,00	20,26	932,05	4627,05
Ene-19	2467,00	1183,00	3650,00	19,58	900,65	4550,65
Feb-19	2666,00	789,00	3455,00	21,16	973,30	4428,30
Mar-19	2555,00	913,00	3468,00	20,28	932,78	4400,78
Abr-19	1937,00	1022,00	2959,00	15,37	707,16	3666,16
May-19	2838,00	903,00	3741,00	22,52	1036,10	4777,10
Jun-19	3098,00	1591,00	4689,00	24,59	1131,02	5820,02
Jul-19	3178,00	1680,00	4858,00	25,22	1160,22	6018,22
Ago-19	3418,00	1702,00	5120,00	27,13	1247,84	6367,84
Sep-19	3257,00	1293,00	4550,00	25,85	1189,06	5739,06
Oct-19	3512,00	1078,00	4590,00	27,87	1282,16	5872,16
Nov-19	3416,00	1264,00	4680,00	27,11	1247,11	5927,11
Total			49455,00		12739,44	62194,44

Tabla N° 12: Volúmenes facturados en el periodo de Dic 2018 – Nov 2019

Fuente: Base de datos de los consumos de la EPSA Cosaalt

Se observó que el número de usuarios facturados que pertenecen a esta sub zona son 173 entre los cuales 126 pertenece a la categoría Domestica A y solo un usuario pertenece a la categoría comercial que vendría a ser el Hotel los Parrales y los usuarios en categoría fija suman 46.

El Consumo Autorizado Facturado está compuesto por dos componentes, los cuales son:

4.3.2.1.1. Consumo facturado medido

- a. Descripción

- Consumos leídos de usuarios de tipos: Doméstico, Comercial, oficial/esp.
- Se refiere al consumo de las conexiones activas de los usuarios de diferentes categorías y que cuentan con medidor que registran o no diferencias de lecturas para el periodo diciembre 2018 a noviembre 2019.

b. Fuente de Información

- Las lecturas se registran a través de micromedidores instalados.
- Las lecturas se realizan con padrones de manera manual.

c. Cálculo del Volumen del Agua

- El volumen de consumo de agua mensual se calcula por diferencia de lectura.
- Se suman los consumos mensuales de los registros individuales para obtener el consumo en el período del balance hídrico.

Meses	CON MEDIDOR		
	Doméstica A m ³	Comercial m ³	Volumen m ³
Dic-18	2553,00	1142,00	3695,00
Ene-19	2467,00	1183,00	3650,00
Feb-19	2666,00	789,00	3455,00
Mar-19	2555,00	913,00	3468,00
Abr-19	1937,00	1022,00	2959,00
May-19	2838,00	903,00	3741,00
Jun-19	3098,00	1591,00	4689,00
Jul-19	3178,00	1680,00	4858,00
Ago-19	3418,00	1702,00	5120,00
Sep-19	3257,00	1293,00	4550,00
Oct-19	3512,00	1078,00	4590,00
Nov-19	3416,00	1264,00	4680,00
Total	34895,00	14560,00	49455,00

Tabla N° 13: Consumo facturado medido en el periodo de Dic 2018 – Nov 2019

Fuente: Base datos de consumos de la EPSA Cosalt.

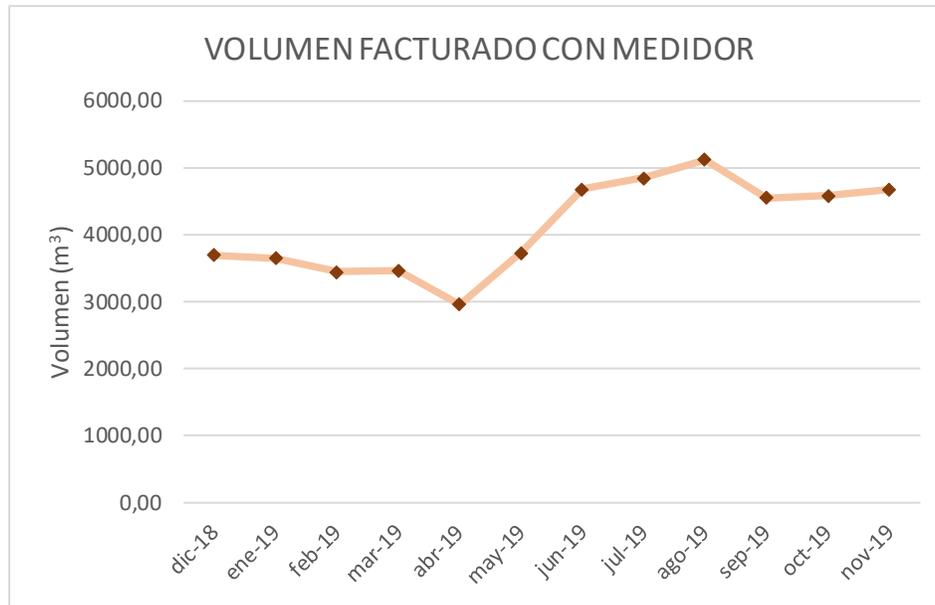


Figura N° 18: Consumo facturado medido en el periodo de Dic 2018 – Nov 2019

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.1.2. Consumo facturado no medido

Consumo facturado por promedio

a. Descripción

- Se refiere a las conexiones que no cuentan con medidor y conexiones que cuentan con medidor donde el mismo por diferentes razones no ha podido ser leído, por lo que se factura de acuerdo al promedio de consumo según su categoría de los últimos doce meses hasta que se cambie el medidor.

b. Fuente de Información

- Sistema comercial, las lecturas se realizan con padrones de manera manual.

c. Cálculo del Volumen del Agua

- Se suman los consumos promedios mensuales de todas las conexiones para obtener el consumo promediado total del mes.
- Se suman los consumos totales mensuales para obtener el consumo en el período del balance hídrico.

Meses	Doméstica A m ³	SIN MEDIDOR	
		Consumo Promedio m ³	Volumen m ³
Dic-18	2553,00	20,26	932,05
Ene-19	2467,00	19,58	900,65
Feb-19	2666,00	21,16	973,30
Mar-19	2555,00	20,28	932,78
Abr-19	1937,00	15,37	707,16
May-19	2838,00	22,52	1036,10
Jun-19	3098,00	24,59	1131,02
Jul-19	3178,00	25,22	1160,22
Ago-19	3418,00	27,13	1247,84
Sep-19	3257,00	25,85	1189,06
Oct-19	3512,00	27,87	1282,16
Nov-19	3416,00	27,11	1247,11
TOTAL	34895,00	392,50	12739,44

Tabla N° 14: Consumo facturado no medido en el periodo Dic 2018 - Nov 2019

Fuente: Elaboración propia

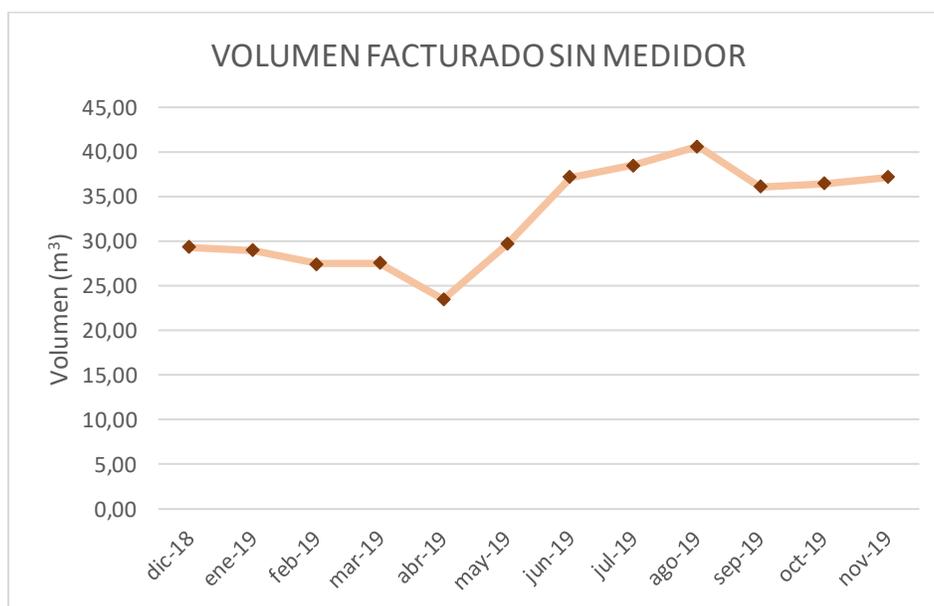


Figura N° 19: Consumo facturado por promedio en el periodo Dic 2018 – Nov 2019

Fuente: Elaboración propia

BH	Consumo Facturado Medido	Consumo Facturado no medido
Límite del sistema	Usuarios abastecidos por la EPSA	Usuarios abastecidos por la EPSA
Período	2018-2019	2018-2019
Subcomponente	Consumos leídos de usuarios de tipos: Doméstico, Comercial, Oficial/esp.	Consumo facturado por promedio
Explicación	Se refiere al consumo de las conexiones activas de los usuarios de diferentes categorías y que cuentan con medidor que registran o no diferencias de lecturas para el periodo diciembre 2018 a noviembre 2019.	Se refiere a las conexiones con medidor donde el mismo por diferentes razones no pudo ser leído, por lo que se factura de acuerdo al promedio de consumo de los últimos seis meses hasta que se cambie el medidor.
Variables	1- Consumo facturado mensual de agua por conexión (m ³)	1- Consumo promedio mensual de agua por conexión (m ³)
Fuente de información	Las lecturas se registran a través de micro medidores instalados. Las lecturas se realizan con padrones de manera manual.	Sistema comercial
Cálculo del volumen de agua	1- El volumen de consumo de agua mensual se calcula por diferencia de lectura. 2- Se suman los consumos mensuales de los registros individuales para obtener el consumo en el período del balance hídrico.	1- Se suman los consumos promedios mensuales de todas las conexiones para obtener el consumo promediado total del mes. 2- Se suman los consumos totales mensuales para obtener el consumo en el período del balance hídrico.
Sustento	Fuente de datos "Altamente confiable": 1- Los volúmenes son obtenidos del sistema de facturación. 2- El cálculo del volumen mensual se realiza de manera correcta a través de Excel.	Fuente de datos "Altamente confiable": 1- Los volúmenes son obtenidos del sistema de facturación. 2- El cálculo del volumen mensual se realiza de manera correcta a través de Excel.
Valor	49455 m ³	12739,44 m ³
Margen de error	0,50%	20%

Tabla N° 15: Resumen del consumo autorizado facturado

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar el análisis obtenemos como resultados lo siguiente:

- Consumo Autorizado Facturado = 62197,44 m³
 - Consumo Facturado Medido = 49455 m³
 - Consumo Facturado no Medido = 12739,44 m³

El nivel de confianza con el que se trabajo es al 95%, tomando como valor del nivel de confianza de 1,96 para los cálculos.

4.3.2.2. Consumo autorizado no facturado (Q_{ANF})

Es el volumen de agua medida y no medida por el que no se ha pagado ninguna factura, este componente está conformado por el consumo no facturado medido y el consumo no facturado no medido.

4.3.2.2.1. Consumo no facturado medido

a. Descripción

- Se refiere al consumo realizado por las instituciones cuyo pago esta exonerado, por algún convenio realizado.
- En el caso de la sub zona existe una institución exonerada de pago, se tiene dos conexiones que pertenecen a áreas verdes la cuales dependen de la Alcaldía Municipal de Tarija.

b. Fuente de información

- Sistema Comercial

c. Cálculo del Volumen del Agua

- Se suman los consumos mensuales de todas las conexiones para obtener el consumo total del mes.
- Se suman los consumos totales mensuales para obtener el consumo en el período del balance hídrico.

BH	Consumo no Facturado Medido	Consumo no Facturado no medido
Subcomponente	Instituciones exoneradas de pago	Usos propios de la EPSA
Límite del sistema	Usuarios abastecidos por la EPSA	Usuarios abastecidos por la EPSA
Período	2018-2019	2018-2019
Explicación	Se refiere al consumo realizado por las instituciones cuyo pago esta exonerado, por algún convenio realizado.	Se refiere al consumo realizado dentro de la infraestructura en donde se encuentran los reservorios.
Variables	Consumo facturado mensual de agua por conexión (m ³)	Consumo facturado mensual de agua por conexión (m ³)
Fuente de información	Las lecturas se registran a través de micromedición.	Las lecturas se registran a través de micromedición.
Cálculo del volumen de agua	1- El volumen de consumo de agua mensual se calcula por diferencia de lectura.	1- El volumen de consumo de agua mensual se calcula por diferencia de lectura.
Sustento	Fuente de datos "Altamente confiable", se realiza a través de un micromedidor.	Fuente de datos "Altamente confiable", se realiza a través de un micromedidor.
Valor	416 m ³	0 m ³
Margen de error	20%	5.0%

Tabla N° 16: Tabla resumen del consumo No Facturado Medido

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar el análisis obtenemos como resultados lo siguiente:

- Consumo No Facturado Medido = 416 m³
 - Instituciones exoneradas de pago = 416 m³
 - Usos propios de la EPSA = 0 m³

El nivel de confianza con el que se trabajo es al 95%, tomando como valor del nivel de confianza de 1,96 para los cálculos.

4.3.2.2.2. Consumo no facturado no medido

Limpieza y mantenimiento de redes

a. Descripción

- De acuerdo a la programación vigente las redes de agua potable son limpiados cada seis meses.

b. Fuente de Información

- Entrevista con el encargado del área de mantenimiento de redes y obras civiles.

c. Cálculo del Volumen del Agua

- Se calcula el volumen de agua de lavado con la sumatoria del agua usada en el proceso de limpieza.
- Se multiplican por el número de lavados realizados en el período contemplado.

CONSUMO NO FACTURADO NO MEDIDO (m ³)				
Red	Purga de la red	Limpieza	Frecuencia	Volumen de lavado
Amalia Medinacelli	6	3	6 MESES	18
El Carmen Aranjuez	12	6	6 MESES	36
TOTAL m³/año				54

Tabla N° 17: Volumen de lavado de redes 2018 - 2019

Fuente: Elaboración propia

BH	Limpieza y mantenimiento de redes
Subcomponente	Limpieza y mantenimiento de redes
Periodo	2018-2019
Límite del sistema	A partir del ingreso a sistema El Carmen Aranjuez
Explicación	De acuerdo a la programación vigente las redes de agua potable son limpiados cada 6 meses.
Variables	1- Número de lavados realizados. 2- Volumen estimado de agua de lavado.
Fuente de información	Entrevista con el encargado del área de Supervisión de mantenimiento de redes y obras civiles.

Cálculo del volumen de agua	1- Se calcula el volumen de agua de lavado con la sumatoria del agua usado en el proceso de limpieza. 2- Se multiplican por el número de lavados realizados en el período contemplado
Sustento	Fuente de datos "Altamente confiable": 1- Los registros de las variables se basan en reportes anotados en forma manual. 2-El cálculo del volumen mensual se realiza a través de Excel.
Variables	1- Número de lavados realizados. 2- Volumen estimado de agua de lavado.
Valor	54 m³
Margen de error	25%
Desviación estándar	6,89
Varianza	47.44

Tabla N° 18: Tabla resumen Consumen No Facturado no Medido

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar el análisis obtenemos como resultados lo siguiente:

- Consumo no Facturado no Medido = 54 m³
 - Limpieza y mantenimiento de reservorios = 54 m³

El nivel de confianza con el que se trabajo es al 95%, tomando como valor del nivel de confianza de 1,96 para los cálculos.

4.3.3. Pérdidas de agua (agua no comercializada) (Q_P)

Las pérdidas de agua, se expresan como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema (Q_I) y el consumo autorizado (Q_A), y consiste en pérdidas aparentes y reales.

$$Q_P = \text{Vol. ingreso al sistema} - \text{Consumo autorizado}$$

$$Q_P = Q_I - Q_A$$

$$Q_P = 100\,691,50 \text{ m}^3 - 62\,664,44 \text{ m}^3$$

$$Q_P = \mathbf{38\,027,06 \text{ m}^3}$$

Obteniendo como resultado de pérdidas de agua un volumen de 38 027,06 m³, representando este resultado un 37,77% del volumen de agua de ingreso al sistema.

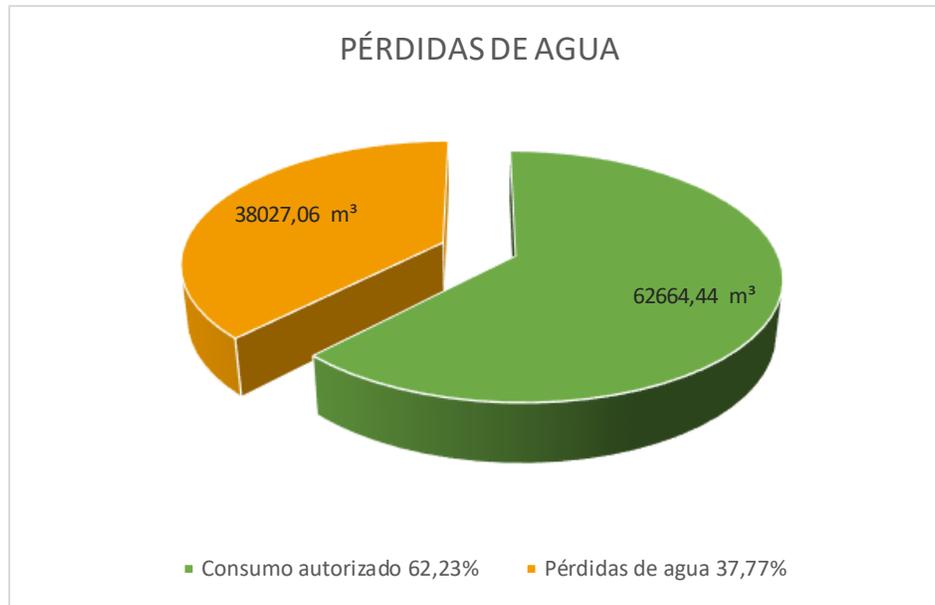


Figura N° 20: Volumen de Pérdidas de Agua Vs Volumen Consumo Autorizado, en el periodo de Dic 2018 - Nov 2019

Fuente: Elaboración propia

Las pérdidas de agua representan la suma de las pérdidas aparentes y las pérdidas reales.

4.3.4. Pérdidas aparentes (Q_{PA})

Las pérdidas aparentes, están comprendidas por toda el agua que es entregada exitosamente al cliente, pero que por alguna razón no es medida o registrada con exactitud, la cual causa un error en la determinación de la cantidad de agua que consumen los clientes. Por lo tanto este tipo de pérdidas crean costos en la producción sin generar ingreso para la empresa.

- Consumo no autorizado.
- Inexactitudes de los medidores.

4.3.4.1. Consumo no autorizado

El consumo no autorizado, es aquella cuya extracción no está autorizada, constituye una fuente importante de pérdidas, aquí se consideró las conexiones clandestinas, las conexiones indebidas y las pérdidas por servicio sin medición, la forma de trabajo se detalla a continuación:

4.3.4.1.1. Conexiones clandestinas

Este tipo de pérdidas son de gran importancia pero difíciles de cuantificar. Debido a que no se encuentran fácilmente, pero se tiene un promedio de encuentro de dos fugas clandestinas/mes. Este dato fue obtenido en el área comercial de Cosaalt.

Nota: Según el Plan Maestro Metropolitano para la ciudad de Tarija las conexiones clandestinas se estiman en:

Q clandestino = 5% como pérdida

Donde:

Clandestinos = (% CLANDESTINOS) x (Nº CONEXIONES TOTALES) x (CONSUMO PROMEDIO MENSUAL) x (Nº DE MESES DE ESTUDIO)

Clandestinos = (5,0%) x (198) x (22,97) x (12)

Clandestinos = **2728,84 m³**

4.3.4.1.2. Pérdidas por servicios sin medición

Las pérdidas por servicios sin medición se deben al mal empleo o uso de agua. Debido a que algunos usuarios al carecer de micro medición desperdician el agua como ser actividades de riego de jardines, lavado de vehículos, patios y aceras.

Nota: No existe un valor y se estima en un 5% como pérdida, según El Plan Maestro Metropolitano para la ciudad de Tarija.

PÉRDIDA POR SERVICIO SIN MEDICIÓN = 5% (CONSUMO FACTURADO NO MEDIDO)

Pérdida por servicio sin medición = (5%) x (12739,44)

Pérdida por servicio sin medición = **636,97 m³**

Del análisis detallado se determina que las conexiones clandestinas tienen un volumen de 2728,84 m³ y las conexiones por servicio sin medición un volumen de 636,97 m³, obteniéndose un total de 3365,81 m³ para el Consumo no Autorizado, representando este resultado un 3,34% del volumen de agua de ingreso al sistema

VARIABLES	CÁLCULO
% Clandestinos	5.0%
Nº Conexiones totales	198
Consumo promedio mensual (con medidor) m ³ /mes	22,97
Conexiones Clandestinas	2728,84 m³
Pérdida por servicio sin medición	636,97 m³
PÉRDIDA POR CONSUMO NO AUTORIZADO	3 365,81 m³

Tabla N° 19: Resumen cálculo de consumo no autorizado

Fuente: Elaboración propia

4.3.4.2. Pérdidas por inexactitud de medidores

Producidas por error en los medidores por falta de calibración o por el uso que se les da en el transcurso del tiempo.

Nota: Según datos del departamento comercial de Cosalt sus micro medidores trabajan con alrededor de un error de 3% y se realizan reparaciones y mantenimiento periódico de estos equipos.

Donde:

INEXACTITUD DE MEDIDORES = 3% (CONSUMO DOMESTICA A + CONSUMO OFICIAL ESP.B + CONSUMO COMERCIAL)

INEXACTITUD DE MEDIDORES = (3%) x (34895+ 416 + 14560)

INEXACTITUD DE MEDIDORES = **1496,13 m³**

Del análisis detallado se determina que las pérdidas en la inexactitud de la micro medición tienen un volumen de 1496,13 m³ con un margen de error de 14,43%, representando este volumen un 1,49% del volumen de agua que ingresa al sistema.

Luego de determinar el consumo no autorizado y las inexactitudes de los medidores, el resultado de pérdidas aparentes es un volumen de 4861,94 m³, representando este resultado un 4,83% del volumen de agua de ingreso al sistema.

Q_{PA} = Pérdidas Aparentes

Q_{PA} = Consumo no autorizado + Inexactitudes de los medidores

Q_{PA} = 3 365,81 m³ + 1 496,13 m³

Q_{PA} = **4861,94 m³**

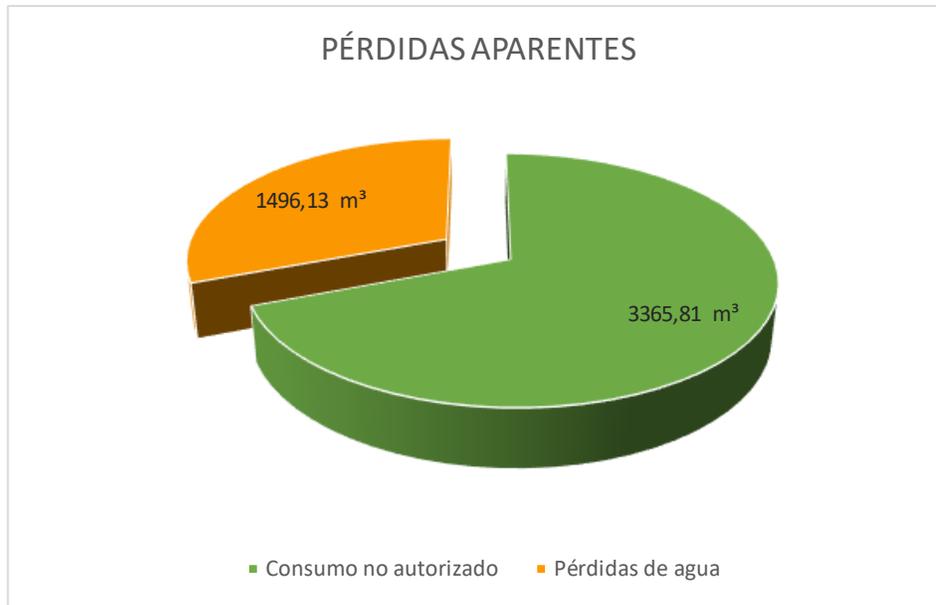


Figura N° 21: Resumen de pérdidas Aparentes

Fuente: Elaboración propia

4.3.5. Pérdidas reales (Q_{PR})

Las pérdidas reales, son volúmenes de agua perdidos dentro de un determinado periodo a través de todo tipo de fugas, estallidos y reboses.

En este estudio dichas pérdidas se clasificaron en:

- **Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente**
- **Fugas en tuberías de distribución o líneas principales**

Las pérdidas reales se calcularon de la siguiente manera:

$$Q_{PR} = (\text{Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente}) + (\text{Fugas en tuberías de distribución o líneas principales})$$

$$Q_{PR} = 16\ 582,55\ \text{m}^3 + 16\ 582,55\ \text{m}^3$$

$$Q_{PR} = \mathbf{33\ 165,12\ \text{m}^3}$$

Luego de determinar las fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente y en las tuberías de distribución o líneas principales, se obtuvo como resultado de Pérdidas Reales de agua un volumen de 33 165,12 m³, representando este resultado un 32,94% del volumen de entrada al sistema.

Para nuestro estudio se tomó en cuenta el recorrido que se hizo por la red para detección de fugas con la varilla de escucha, se utilizó solamente en contacto con el micromedidor ya que se requiere un alto grado de experiencia del usuario para identificar y diferenciar los ruidos de fugas, se evidencio las cantidades de eventos relacionados a fugas, incluso su tipo (si es en la red principal o en las conexiones domiciliarias), pero lo que no nos permitía conocer es el volumen de agua que se perdía en cada uno de dichos eventos, ahora debemos comprender que el volumen de agua perdida, está vinculado directamente con varios factores (tamaño de la rotura, tiempo de respuesta a solucionar dicha rotura, presión de agua en la tubería, etc.), para los cuales no hay una información de referencia, siendo complicada la estimación del volumen de agua que se pierde en las pérdidas reales.

Como nuestro método de análisis para el balance hídrico es de “Arriba hacia abajo”, es decir se partió de un volumen inicial al cual se le fue restando volúmenes a medida que se desarrollaba el balance, quedó así un volumen restante, y al ser este componente el último (Pérdidas reales), se puede asumir y/o asignar dicho volumen de agua restante, quedando entonces 32 165,12 m³ correspondiendo a Pérdidas Reales, luego éste a su vez tiene dos subdivisiones que son: Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente y Fugas en tuberías de distribución o líneas principales, entonces asignamos la mitad de dicho volumen a cada uno de estos, es decir 16 582,55 m³ para ambos.

Luego de realizar el análisis de los componentes de las pérdidas de agua procedemos a determinar el volumen total de las pérdidas de agua, obteniendo lo siguiente:

$$Q_P = \text{Pérdidas de agua}$$

$$Q_P = \text{Pérdidas Aparentes} + \text{Pérdidas Reales}$$

$$Q_P = Q_{PA} + Q_{PR}$$

$$Q_P = 4\,861,94 \text{ m}^3 + 33\,165,12 \text{ m}^3$$

$$Q_P = 38\,027,06 \text{ m}^3$$

4.3.6. Agua no facturada (ANF)

Volumen total de agua que permanece sin facturarse y que por lo tanto no genera ningún ingreso para la empresa.

Se puede expresar como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado facturado o como la suma del consumo autorizado no facturado y de las pérdidas de agua.

$$ANF = Q_I - Q_{AF}$$

$$ANF = Q_{AuNF} + Q_{PA} + Q_{PR}$$

$$ANF = Q_I - Q_{AF}$$

$$ANF = 100\,691,5 \text{ m}^3 - 62\,194,44 \text{ m}^3$$

$$ANF = 38\,497,06 \text{ m}^3 \Rightarrow 38,23\%$$

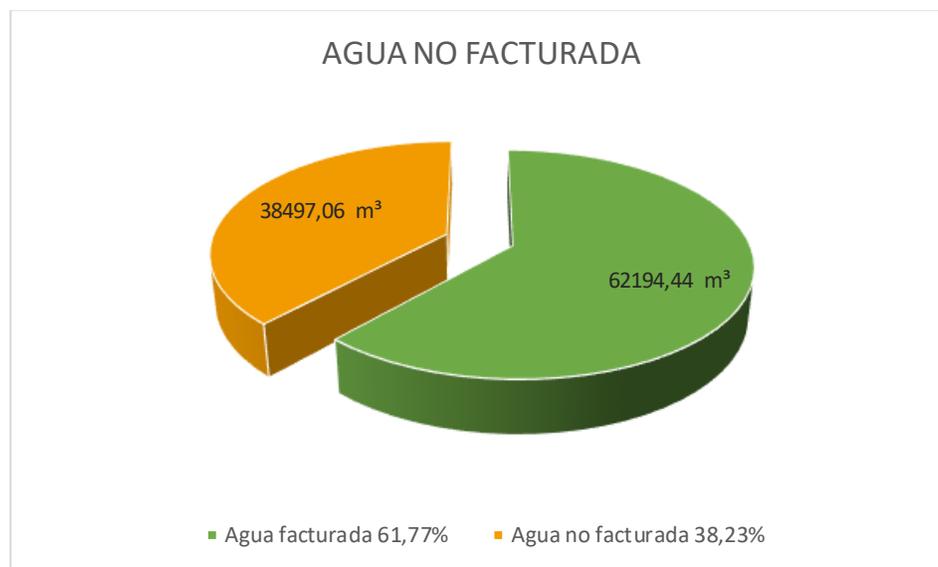


Figura N° 22: Volumen de agua no facturada en el periodo Dic 2018 – Nov 2019

Fuente: Elaboración propia

Además para la determinación del % ANF, en el cálculo del volumen de entrada al sector (volumen de distribución), se intenta hacer coincidir el periodo de facturación con el periodo de distribución de agua, siendo calculado dicho volumen como valor total durante un mes, remontándose desde la fecha de lectura (periodo de facturación).

El periodo de facturación sería la lectura de los medidores que realiza el contratista de acuerdo con el programa de lectura mensual.

Teniendo los volúmenes de distribución y de facturación total, se puede determinar el índice de % ANF en el cual se calcula del siguiente modo:

$$\%ANF_{DICIEMBRE} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

A continuación, se presentará los cálculos de los porcentajes de Agua no Facturada para los meses de diciembre 2018 a noviembre 2019.

DICIEMBRE 2018

$$\%ANF_{DICIEMBRE} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{DICIEMBRE} = \left(\frac{7552,17m^3 - 4627,05m^3}{7552,17m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{DICIEMBRE} = \mathbf{38,73\%}$$

ENERO 2019

$$\%ANF_{ENERO} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{ENERO} = \left(\frac{7684,08m^3 - 4550,65m^3}{7684,08m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{ENERO} = \mathbf{40,78\%}$$

FEBRERO 2019

$$\%ANF_{FEBRERO} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{FEBRERO} = \left(\frac{6763,08m^3 - 4428,30m^3}{6763,08m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{FEBRERO} = \mathbf{34,52\%}$$

MARZO 2019

$$\%ANF_{MARZO} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{MARZO} = \left(\frac{6616,50m^3 - 4400,78m^3}{6616,50m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{MARZO} = \mathbf{33,49\%}$$

ABRIL 2019

$$\%ANF_{ABRIL} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{ABRIL} = \left(\frac{6787,25m^3 - 3666,16m^3}{6787,25m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{ABRIL} = \mathbf{45,98\%}$$

MAYO 2019

$$\%ANF_{MAYO} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{MAYO} = \left(\frac{7654,42m^3 - 4777,10m^3}{7654,42m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{MAYO} = \mathbf{37,59\%}$$

JUNIO 2019

$$\%ANF_{JUNIO} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{JUNIO} = \left(\frac{10166,25m^3 - 5820,02m^3}{10166,25m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{JUNIO} = \mathbf{42,75\%}$$

JULIO 2019

$$\%ANF_{JULIO} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{JULIO} = \left(\frac{9929,75m^3 - 6018,22m^3}{9929,75m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{JULIO} = \mathbf{39,39\%}$$

AGOSTO 2019

$$\%ANF_{AGOSTO} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{AGOSTO} = \left(\frac{10173,08m^3 - 6367,84m^3}{10173,08m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{AGOSTO} = \mathbf{37,41\%}$$

SEPTIEMBRE 2019

$$\%ANF_{SEPTIEMBRE} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{SEPTIEMBRE} = \left(\frac{10084,33m^3 - 10084,33m^3}{5739,06m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{SEPTIEMBRE} = \mathbf{43,09\%}$$

OCTUBRE 2019

$$\%ANF_{OCTUBRE} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{OCTUBRE} = \left(\frac{9926,25m^3 - 5872,16m^3}{9926,25m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{OCTUBRE} = \mathbf{40,84\%}$$

NOVIEMBRE 2019

$$\%ANF_{NOVIEMBRE} = \left(\frac{V_{DISTRIBUCIÓN} - V_{FACTURADO\ TOTAL}}{V_{DISTRIBUCIÓN}} \right) * 100$$

$$\%ANF_{NOVIEMBRE} = \left(\frac{7354,33m^3 - 5927,11m^3}{7354,33m^3} \right) * 100$$

$$\%ANF_{NOVIEMBRE} = \mathbf{19,41\%}$$

En resumen, se tiene el %ANF en los meses de diciembre 2018 a noviembre 2019 de la sub zona El Carmen Aranjuez, se presenta en el siguiente cuadro:

MESES	VOLUMEN DISTRIBUIDO	VOLUMEN FACTURADO			VOLUMEN ANF m ³ y %ANF	
		CON MEDIDOR		VOLUMEN TOTAL FACTURADO	VOLUMEN ANF m ³	%ANF (%)
		Volumen Facturado por Micro medición	Volumen Facturado por PROMEDIO			
Dic-18	7552,17	3695,00	932,05	4627,05	2925,12	38,73
Ene-19	7684,08	3650,00	900,65	4550,65	3133,43	40,78
Feb-19	6763,08	3455,00	973,30	4428,30	2334,78	34,52
Mar-19	6616,50	3468,00	932,78	4400,78	2215,72	33,49
Abr-19	6787,25	2959,00	707,16	3666,16	3121,09	45,98
May-19	7654,42	3741,00	1036,10	4777,10	2877,32	37,59
Jun-19	10166,25	4689,00	1131,02	5820,02	4346,23	42,75
Jul-19	9929,75	4858,00	1160,22	6018,22	3911,53	39,39
Ago-19	10173,08	5120,00	1247,84	6367,84	3805,24	37,41
Sep-19	10084,33	4550,00	1189,06	5739,06	4345,27	43,09
Oct-19	9926,25	4590,00	1282,16	5872,16	4054,09	40,84
Nov-19	7354,33	4680,00	1247,11	5927,11	1427,22	19,41
TOTAL	100691,50	49455,00	12739,44	62194,44	38497,06	38,23

Tabla N° 20: Agua no Facturada en la sub zona El Carmen Aranjuez diciembre 2018 a noviembre 2019

Fuente: Elaboración propia

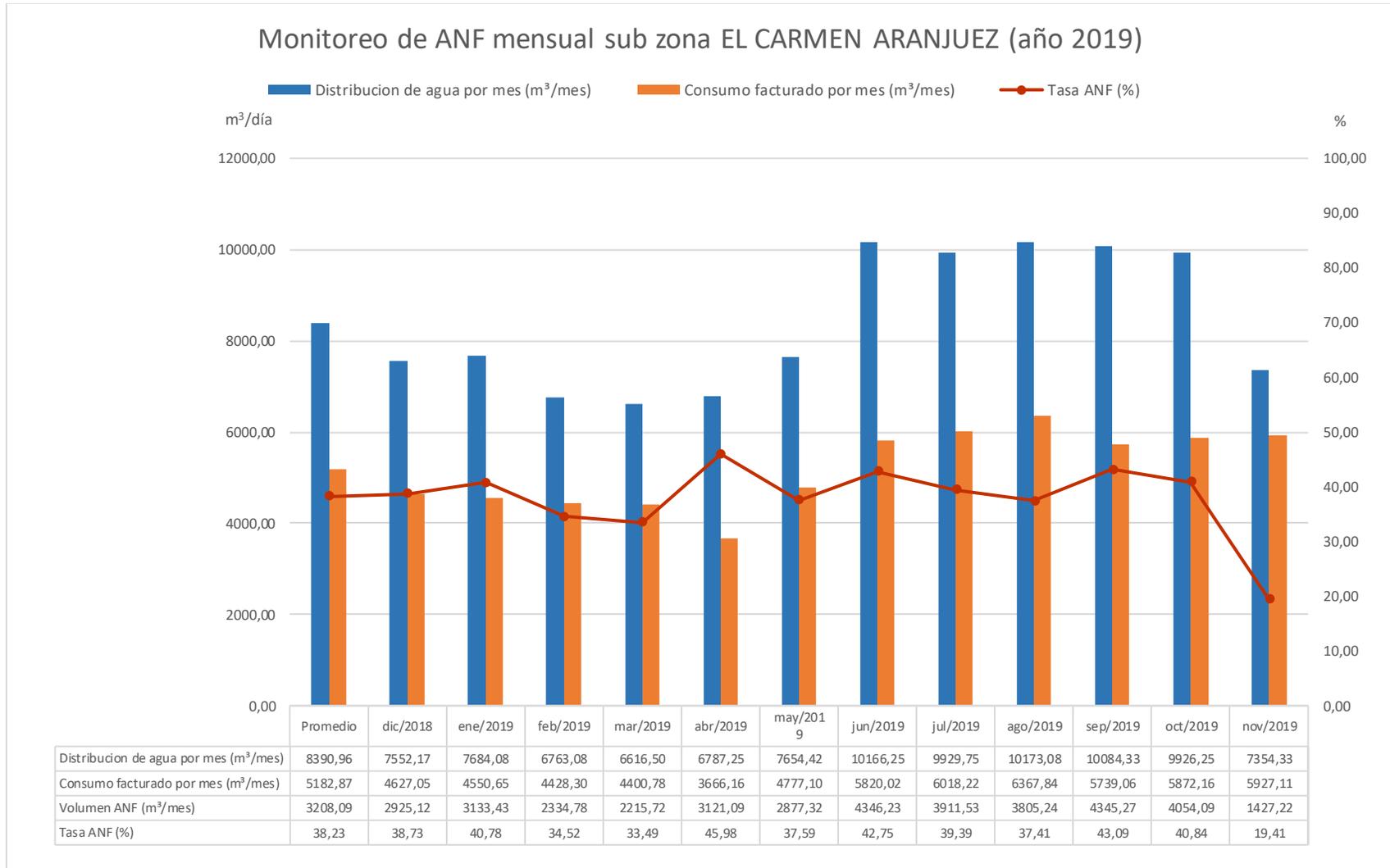


Figura N° 23: Evolución del ANF en la sub zona El Carmen Aranjuez Dic 2018 - Nov 2019

Fuente: Elaboración propia

Estableciendo como línea base el mes de diciembre del 2018, el %ANF era de 38,73% y en noviembre del 2019 ese porcentaje disminuyó hasta el 19,32%, con un descenso del 14,13%. En cuanto al volumen facturado, aumento de 4627,05 m³ mes de diciembre del 2018 a 5927,11 m³ mes de noviembre del 2019, con un incremento de 1300,06 m³.

A continuación, se analizará mes a mes el comportamiento del Agua No Facturada mostrada en la figura 23.

- Diciembre 2018 – Enero 2019: EL %ANF sube de diciembre a enero en 2,05%, se debe a que el volumen distribuido aumenta en (↑ 131,91 m³), y el volumen de facturación ha disminuido en (↓ 76,4 m³), por otro lado el volumen de distribución aumenta debido a que ingresamos a la temporada de verano.
- Enero – Febrero 2019: El %ANF bajó de enero a febrero en 6,26%, debido a que el volumen de distribución disminuyó en mayor cantidad (↓ 921 m³), lo mismo sucede con el volumen de facturado total (↓ 228 m³). Por otro lado el total de conexiones activas se mantuvieron constantes.
- Febrero – Marzo 2019: El %ANF bajó de febrero a marzo en 1,03%, se debe a que el volumen de distribución disminuyó en (↓ 146,58 m³), el volumen de facturación también disminuyó (↓ 218 m³). La disminución de volúmenes puede deberse a que en estos meses la lluvia es frecuente, por lo que existe una menor demanda de agua y por ende se va en descenso el volumen facturado.
- Marzo – Abril 2019: El %ANF sube de marzo a abril en 12,49%, se debe a que el volumen de facturación disminuyó en (↓ 384 m³), y el volumen de distribución aumentó en (↑ 170,75 m³), sin embargo se observa que en el mes de abril hubo menor volumen de facturación comparado con todos los meses del año.
- Abril – Mayo 2019: El %ANF bajo de abril a mayo en 8,39%, debido al volumen de facturación sube notoriamente en (↑ 1110,94 m³) comparado con el mes abril y el volumen de distribución también aumentó en (↑ 867,17 m³), es decir que el ANF sube cuando el volumen de facturación es baja mientras que si sube el volumen de facturación en ANF baja.

- Mayo – Junio 2019: El %ANF sube de mayo a junio en 5,16%, debido a que el volumen de distribución aumento demasiado en ($\uparrow 2511,86 \text{ m}^3$) y el volumen de facturación subió en ($\uparrow 1042,92 \text{ m}^3$), se observa que el mes de junio es uno de los meses con mayor volumen de distribución y por lo tanto sus componentes en este mes todos son elevados.
- Junio – Julio 2019: EL %ANF baja de junio a julio en 3,36%, debido a que el volumen de facturación se incrementó en ($\uparrow 198,2 \text{ m}^3$), sin embargo el volumen de distribución disminuyó en ($\downarrow 236,5 \text{ m}^3$), se puede observar que en el mes julio bajo considerablemente el volumen de distribución.
- Julio – Agosto 2019: EL %ANF baja de julio a agosto en 1,98%, debido a que el volumen de distribución se incrementó en ($\uparrow 243,33 \text{ m}^3$), sin embargo el volumen de facturación también aumento en ($\uparrow 249,62 \text{ m}^3$), se puede observar que en el mes agosto subió considerablemente el volumen de distribución y el volumen de facturación.
- Agosto – Septiembre 2019: El %ANF subió de agosto a septiembre en 5,68%, debido a que el volumen de facturación disminuyo en ($\downarrow 628,78 \text{ m}^3$), el volumen de distribución bajo en ($\downarrow 88,75 \text{ m}^3$) y se observa el mes de septiembre tiene una baja en sus componentes y nos lleva tener más% de agua no facturada.
- Septiembre – Octubre 2019: El %ANF bajo de septiembre a octubre en 2,25%, debido a que el volumen de facturación aumentó ($\uparrow 133,1 \text{ m}^3$), el volumen de distribución disminuyó en ($\uparrow 158,08 \text{ m}^3$). En estos meses la planta de tratamiento de agua potable tiene mucha demanda es por ello que los volúmenes distribuidos disminuyen.
- Octubre – Noviembre 2018: El %ANF bajo de octubre a noviembre en 21,43%, se debe a que el volumen de facturación aumentó en ($\uparrow 384 \text{ m}^3$), y el volumen de distribución disminuyó ($\downarrow 2571,92 \text{ m}^3$), se observa que el volumen facturado tiene un aumento constante desde el mes de agosto hasta noviembre.

4.4. Balance hídrico

- Zona de estudio: sub zona El Carmen Aranjuez
- Periodo de balance hídrico: diciembre 2018 – noviembre 2019
- Días: 365 días

BALANCE SEGÚN EL IWA (DIC 2018 – NOV 2019)					
Volúmenes entregados al sistema (Entrada de tubería de 4 pulgadas) Q_i 100 691,50 m ³ 100,00%	Consumo Autorizado Q_A 62 664,44 m ³ 62,23%	Consumo Autorizado facturado Q_{AF} 62 194,44 m ³ 61,77%	Consumo facturado medido 49 455,00 m ³ 49,12%	AGUA FACTURADA 62 194,44 m ³ 61,77%	
			Consumo facturado no medido 12 739,44 m ³ 12,65%		
		Consumo Autorizado no facturado Q_{ANF} 470,00 m ³ 0,47%	Consumo no facturado medido 416,00 m ³ 0,41%	AGUA NO FACTURADA 38 497,06 m ³ 38,23%	
			Consumo no facturado no medido 54,00 m ³ 0,05%		
	Pérdidas de agua Q_P 38 027,06 m ³ 37,77%	Pérdidas Aparentes (Comerciales) Q_{PA} 4 861,94 m ³ 4,83%			Consumo no autorizado 3 365,81 m ³ 3,34%
					Inexactitud de los medidores 1 496,13 m ³ 1,49%
		Pérdidas Reales (Físicas) Q_{PR} 33 165,12 m ³ 32,94%		Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente 16 207,33 m ³ 16,47%	
				Fugas en tuberías de distribución o líneas principales 16 207,33 m ³ 16,47%	

Figura N° 24: Resumen del Balance Hídrico sub zona El Carmen Aranjuez

Fuente: Elaboración propia

4.5. Análisis de los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de esta evaluación realizada mediante la aplicación de la metodología del Balance Hídrico propuesta por la Asociación Internacional del Agua (IWA, por sus siglas en inglés), nos da como resultado un índice de pérdidas del 38,23% (agua no facturada), este análisis fue realizado considerando un periodo de 12 meses, partiendo de diciembre del 2018 a noviembre del 2019.

El Consumo Autorizado Facturado, tiene un índice de 61,77% sobre el volumen de entrada al sistema, este valor es muy importante ya que representa la ganancia económica percibida por la EPSA Cosaalt Ltda., el resto son netamente pérdidas, es decir es un agua tratada por la cual la empresa prestadora de servicio no recibe remuneración económica alguna.

Dentro del Consumo Autorizado no Facturado, encontramos el Consumo no Facturado Medido, y dentro de éste ítem ubicamos el agua utilizada para el riego de las áreas verdes (parques); esta agua si bien está considerado dentro del análisis como un agua que se pierde sin la obtención de un beneficio económico, no es tanto así ya que es un agua que se ha utilizado con un determinado fin, es decir que se ha empleado para mantenimiento de un espacio público, la primera en beneficio de la población y la segunda en beneficio del medio ambiente.

Al Consumo no Autorizado luego del análisis se le asignó un índice de 3,34% sobre el volumen de entrada al sistema, el cual está compuesto por las conexiones clandestinas y pérdidas por servicio sin medición, su estimación es complicada ya que el área comercial y el área operacional no cuentan con estudios recientes, todas están sujetas a estudios de estimación en el Plan Maestro Metropolitano que nos indica usar un porcentaje como un estimado para la ciudad de Tarija. En lo correspondiente a la Inexactitud de la micromedición, se calculó un índice de 1,49% sobre el volumen de entrada al sistema, la cual es producida por error en los medidores por falta de calibración o por el uso que se les da en el transcurso del tiempo.

En la última escala del análisis se encuentran las Pérdidas Reales, que corresponden netamente a fugas, y al ser este el último ítem del balance hídrico, se asigna el volumen restante, siendo éste un 32,94% sobre el volumen de entrada al sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos de ANF a nivel anual en la sub zona y comparando con porcentajes de agua no facturada que se tiene en los indicadores a nivel nacional para el departamento de Tarija y los datos del Plan Maestro Metropolitano.

Indicadores AAPS	36,92%
Según PPM	35%
ANF de la sub zona	38,23%

Como se puede observar el ANF determinada para la sub zona estudiada, es similar a los porcentajes obtenidos en los estudios recientes que se hizo para la ciudad de Tarija. De acuerdo al informe del Plan Maestro Metropolitano en la ciudad de Tarija, las estrategias futuras para reducir el ANC son usar micro y macro medición y establecer una administración operativa que se oriente a dar uso adecuado del agua potabilizada. La reducción de estas pérdidas debe ser en forma gradual y disminuir hasta llegar a valores aceptables como de un 25% al año 2036.

4.5.1. Análisis económico

El volumen de pérdida de agua en la sub zona El Carmen Aranjuez asciende a un porcentaje del 37,77% sobre el volumen de entrada al sistema, esto se traduce en 38 027,06 m³ lo que representa una pérdida económica de 186 635,65 Bs (Ciento ochenta y seis mil, seiscientos treinta y cinco con 65/100 Bs), lo que equivale a una merma económica mensual de 15 152,97 bolivianos.

Asignación tarifaria	Número de usuarios	Total agua facturada m ³	Total agua facturada Bs	Total agua no facturada m ³	Total agua no facturada Bs
Domestica A	126	34895,00	169677,57	21193,82	103055,32
Oficial / Esp. B	2	416,00	2669,82	252,66	1621,54
Comercial I	1	14560,00	83760,14	8843,16	50872,54
Consumo Fijo	46	12739,44	49140,88	7737,42	29846,19
Total	175	62194,44	305248,41	38027,06	186635,65

Tabla N° 21: Análisis económico del agua facturada y no facturada de la sub zona El Carmen Aranjuez en el periodo Dic 2018 – Nov 2019

Fuente: Elaboración propia

Para llegar a ese valor se realizó un análisis del consumo (durante diciembre de 2018 a noviembre de 2019) según las diferentes asignaciones tarifarias que presenta la sub zona El Carmen Aranjuez y se desglosan en Doméstica A (72,00%), Comercial I (0,57%), Oficial /Esp. B (1,14%) y Consumo fijo (26,29%), se debe mencionar que el cálculo se realizó con la Estructura Tarifaria de vigencia en el periodo de estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se obtuvo el registro de volúmenes de ingreso a la sub zona mediante un macromedidor de Ø 4" el cual fue instalado en la tubería de entrada a la sub zona en el mes diciembre 2018 y permaneció hasta noviembre de 2019. Se hizo la descarga de los datos que fueron almacenados en el datalogger, la información registrada consistía en caudales medidos en un intervalo de tiempo de cinco minutos. Con los datos obtenidos se calculó el volumen, se sumaron para tener el volumen diario y finalmente el volumen de entrada al sistema. Los volúmenes facturados medidos fueron facilitados por la EPSA.
- Se determinó y analizó el Índice de Pérdidas del Sistema de Abastecimiento de agua potable de la sub zona El Carmen Aranjuez de la Ciudad de Tarija, concluyendo con un Índice de Pérdidas de 38,23% como Agua no Facturada, sobre un 61,77% de Agua Facturada, el Agua no Facturada es aquella que se considera como pérdida ya que no genera ingresos económicos para la EPSA. Por los resultados en los estadísticos producto del estudio de investigación se concluye que existe un alto índice pérdidas reales 32,25%.
- Respecto a la comparación de consumos, se verificó que existen mayor cantidad de conexiones que facturan por lectura y son de la tarifa doméstica, los cuales generan mayores ingresos a la EPSA, por lo que no debe descuidarse el mantenimiento del parque de medidores para estos predios domésticos.
- Cuando se elabora el cálculo del balance hídrico, es extremadamente importante recordar que la exactitud de los volúmenes de perdida de agua depende de la exactitud y calidad de los datos utilizados en el cálculo, por lo que es de suma importancia que las EPSA cuenten con una cobertura del 100% de micromedidores en toda su red de servicio, que permita elaborar un balance hídrico que compare la oferta total de agua frente a la demanda, y garantice obtener el índice de agua no facturada (ANF) con

información confiable, evitando la estimación del consumo no medido. Sin embargo, no todas las EPSAS en Bolivia cuentan con micro medición al 100%.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda para la reducción de pérdidas reales que son de mayor incidencia en comparación con las pérdidas aparentes, los cuatro métodos de intervención centrales para combatir las pérdidas reales son gestión de la infraestructura, control activo de fugas, gestión de la presión, velocidad y calidad de reparación las cuales tendrán incidencia en mejorar el servicio, la gestión de la infraestructura ya que reemplazará aquella infraestructura que ya cumplió o se encuentra terminando su ciclo de vida útil, el control activo de fugas porque incluye el monitoreo, detección, localización de fugas visibles pero sobre todo no visibles, reduciendo el tiempo de detección y el tiempo de ocurrencia de fugas, pero sobre todo, tiene incidencia en la gestión de la presión, que conlleva a un ajuste y control de la presión en el sistema de suministro de agua a un nivel óptimo, reduciendo a su vez el caudal de fuga y la frecuencia de roturas, incrementando el tiempo de vida útil de las redes. El método más recomendable aplicar un control activo de fugas, para contrarrestar las pérdidas reales de agua en el que una empresa debe destinar fondos, personal y equipo técnico para detectar y reparar activamente fugas que actualmente existen bajo tierra pero que no están detectadas.
- Se recomienda iniciar un programa de mejoras en el parque de medidores, mediante la instalación, reposición y/o cambio de medidores, es la forma en la que las EPSA determinan el monto real y justo del cobro por el servicio de agua potable que brindan a los usuarios. La micro medición representa la mejor forma de garantizar un uso racional y eficiente del recurso hídrico así mismo, la medición garantiza que quien utiliza mayor cantidad de agua pague más que aquel que utiliza menos cantidad del recurso.
- Iniciar un programa de detección de conexiones clandestinas, estas se deben realizar en aquellos lugares consideradas zonas de expansión urbana, o en donde existan asociaciones de vivienda nuevas que no cuenten con el servicio autorizado. Se debe

realizar inspecciones a las conexiones inactivas, ya sea que estén cortadas o dadas de baja, porque puede que se hallen reaperturas y/o reconectados a la red.

- Se recomienda a la empresa prestadora de servicios Cosaalt Ltda., realizar un balance hídrico de forma trimestral y anual, a fin de llevar un control de las pérdidas existentes y la evolución de estas a lo largo del tiempo. Así mismo es necesario recuperar el agua perdida a fin de mejorar la recaudación y optimizar la distribución.