

## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, Ing. Braulio Umaña Quirós, Ing. Mark Kaleb Jones Sánchez, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

GUSTAVO ADOLFO ROJAS MOYA (FIRMA)  
Firmado digitalmente por GUSTAVO ADOLFO ROJAS MOYA (FIRMA)  
Fecha: 2021.04.30 14:34:54 -06'00'

---

Ing. Gustavo Rojas Moya.  
Director

ANA GRETTEL LEANDRO HERNANDEZ (FIRMA)  
Firmado digitalmente por ANA GRETTEL LEANDRO HERNANDEZ (FIRMA)  
Fecha: 2021.04.30 14:05:58 -06'00'

---

Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.  
Profesora Guía

BRAULIO ENRIQUE UMAÑA QUIROS (FIRMA)  
Firmado digitalmente por BRAULIO ENRIQUE UMAÑA QUIROS (FIRMA)  
Fecha: 2021.05.01 19:00:06 -06'00'

---

Ing. Braulio Umaña Quirós.  
Profesor Lector

MARK KALEB JONES SANCHEZ (FIRMA)  
Digitally signed by MARK KALEB JONES SANCHEZ (FIRMA)  
Date: 2021.05.03 11:09:56 -06'00'

---

Ing. Mark Kaleb Jones Sánchez.  
Profesor Observador

# **Desarrollo de metodologías para mejora de la productividad del acueducto municipal de Paraíso bajo principios de Lean Construction**

# Abstract

As part of this project, it is discussed the intervention of two periodic processes that are fundamental in the purpose of a hydric supply institution, which are: determination of sources capacity and water consumption registers. There have been applied principles and tools of Lean Construction, introduced to the building sector in the Project Management area, with the objective of generating its impact, but in this case, on a public service institution's productivity. It is done through the determination of the initial state processes are performed, as well as with the implementation or suggestion of possible improvements that were given. After this, it is possible to do a subsequent analysis of aspects that should be contemplated to be able to create procedure standardization.

Through the investigation and results obtained, it was concluded that there are a significant number of deficiencies and restrictions that have multiple and diverse difficulties of possible solutions affecting processes execution. Solutions go from substantial changes that need a significant economic investment until small modifications that have a potential impact, on the search from the local government of upgrading their performance. As a result, due to the actual distance from these processes of being executed appropriately, this project pretends to bring a considerable improvement on the departments' functionality.

Keywords: Lean Construction, Productivity, Processes, Improvement, Waste Reduction, Aqueduct, Capacity, Water Consumption, Hydrometers, Rising Water

# Resumen

En este proyecto se aborda la intervención de dos procesos periódicos y fundamentales en el funcionamiento de una institución de suministro hídrico, correspondientes al aforo de fuentes y el registro de consumos de agua. Se aplican principios y herramientas de Lean Construction, introducidos al sector en el área de administración de proyectos, con el fin, en este caso, de generar sus efectos de mejora de productividad en una institución de servicio público. Esto se realiza mediante la determinación del estado actual de los procesos, así como la implementación o sugerencia de posibles mejoras, para un posterior análisis de los aspectos que deben contemplarse en una estandarización de los procedimientos.

A través de los aspectos investigados y de los resultados obtenidos, se determina la existencia de gran cantidad de deficiencias y restricciones con diversas dificultades de solución, que afectan la ejecución de los procesos. Esto incluyó desde cambios sustanciales que necesitan de una inversión económica considerable, hasta pequeñas modificaciones que se vuelven muy significativas en el fin de la municipalidad de mejorar sus procedimientos. Así, debido a que aún estos no serán ejecutados en condiciones aptas, se pretende se dé una mejora sustancial en el funcionamiento del departamento.

Palabras clave: Lean Construction, productividad, procesos, mejora, reducción, desperdicios, acueducto, aforo, consumo hídrico, hidrómetros, nacientes de agua.

# **Desarrollo de metodologías para mejora de la productividad del acueducto municipal de Paraíso bajo principios de Lean Construction**

ANDRÉS FERNANDO ARIAS BARAHONA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Febrero del 2021

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo .....	2
Introducción .....	4
Marco teórico .....	8
Metodología .....	15
Resultados.....	19
Análisis de resultados.....	40
Conclusiones y recomendaciones .....	61
Apéndices .....	62
Anexos.....	103
Referencias.....	109

# Prefacio

La elaboración de este proyecto surge de un acercamiento a la Municipalidad de Paraíso, al existir la posibilidad de formar parte de las acciones de mejora en la intervención del acueducto municipal como objetivo de la nueva administración. Dicha municipalidad está detectando una serie de deficiencias en el funcionamiento y desarrollo de las tareas que realiza este departamento, donde se identifica el aforo de producción y registro de consumo con mayor prioridad de intervención. Tareas esenciales para la gestión de este y muy importante, en el caso de la segunda, la generación de ingresos económicos.

Al tratarse de una institución pública, la ejecución de mejoras, arreglos y proyectos se ve limitada por los recursos disponibles, por lo que un uso ineficiente de estos suele afectar la prestación de un servicio de calidad. Esto se agrava, ya que el acceso al agua es declarado un derecho humano en el país, según el artículo 50 de la Constitución Pública de Costa Rica y, debido a que este cantón ha venido presentando un crecimiento poblacional sostenido, es propenso a situaciones problemáticas al recurrir frecuentemente a racionamientos del suministro, donde incluso se ha necesitado la intervención de Fuerza Pública y otras instituciones del Estado.

Debido a lo anterior, se pretende que el desarrollo del proyecto cumpla con su objetivo de mejorar la productividad del departamento del acueducto municipal bajo la aplicación de principios de Lean Construction y así genere beneficios directos para la institución, pero, sobre todo, para la comunidad. Dicha filosofía consiste en la aplicación de conceptos, herramientas y metodologías para, mediante la reducción de desperdicios, generar una mejora en el consumo de recursos, una necesidad habitual del sector y propiamente de las instituciones públicas.

La información obtenida a través de la investigación desarrollada en este proyecto permitirá a la municipalidad conocer el estado de situación de sus procesos y aportará a su análisis

de implementación de posibilidades que beneficien su funcionamiento. Además, la generación de los manuales de procedimientos y formularios técnicos permitirá estandarizar las tareas, lo que normará el proceder de los colaboradores y mejorará los tiempos de ciclo y supervisión sobre estas.

El principal reto es enfrentar un problema real y aplicar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la carrera; para ser parte de la toma de decisiones que, debidamente justificadas bajo los principios y análisis de ingeniería, sean de aporte para la mejora en la eficiencia de una institución de servicio público. Lo cual es de mucho valor, ya que se genera una serie de experiencias al existir condiciones que cumplir, cuando se trata de una institución creada para el servicio de la población y con un funcionamiento usualmente normado.

Agradezco, primeramente, a Dios, por ser guía en las decisiones que me permiten concluir esta etapa de mi formación, por la salud y sobre todo la fortaleza en los momentos complicados. Agradezco a mi familia y seres queridos, por la transmisión de la importancia y esencialidad de la educación, por todo el apoyo y acompañamiento en mi formación humana y en el cumplimiento de mis metas. Agradezco a Costa Rica, por permitirme acceder a una educación pública superior y al Tecnológico de Costa Rica, por esa formación líder en el país.

Agradezco a la Municipalidad de Paraíso, a los ingenieros Juan Carlos Porras y Danny Torres, junto al Departamento de Acueducto y todos sus colaboradores, por la confianza, activa participación y recibimiento como parte de un equipo de trabajo. Agradezco a la profesora Ana Gretel, a quien, más que como profesora guía, le debo agradecer por aprovechar todas las oportunidades de enseñanza de un desarrollo profesional siempre dirigido para el servicio de las personas; así como el resto de los profesores de la Escuela de Ingeniería en Construcción, especialmente a quienes cuya prioridad de estar en un aula realmente consistió en transmitir sus conocimientos. Además de agradecer a los amigos y compañeros de esta y otras carreras, por compartir tantas experiencias, por todas las veces que me abrieron sus puertas y todas las perspectivas y cafés compartidos.

# Resumen ejecutivo

Un acueducto consiste en un sistema formado por obras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua potable a un núcleo de población determinado. El aforo de producción y registro de consumo son tareas esenciales para la gestión de este, donde, muy importante en caso de la segunda, corresponde al método que permite la generación de ingresos económicos.

El cantón de Paraíso ha venido presentando un crecimiento poblacional sostenido, por lo que se han dado situaciones problemáticas al recurrir frecuentemente a racionamientos del suministro hídrico, lo que evidencia que el Departamento de Acueducto requiere de mayores esfuerzos para lograr su objetivo. Además de limitar la ejecución de trabajos de otros departamentos, como la Unidad Técnica de Gestión Vial y la posibilidad de desarrollo tanto residencial como comercial, incluyendo la aprobación de urbanizaciones o proyectos de vivienda; lo que directamente produciría nuevos ingresos, para este departamento y la municipalidad en general.

La municipalidad identificó que se requiere que los procedimientos en campo garanticen confiabilidad en los datos, por eso se propuso el proyecto para estandarizar los procesos mencionados, con el fin de mejorar la ejecución y supervisión de estos. Para ello, se recopiló información referente al proceso, como aspectos técnicos, información de los sitios de ejecución y del personal, normativa referente, entre otros aspectos que debieron ser contemplados. Además, se realizaron Gemba-Walks, a través de hojas de observación diseñadas en Excel; con recorridos de inspección para identificar características propias de las nacientes o los detenimientos al flujo de valor en la lectura de hidrómetros.

Dicha información, obtenida a través de la investigación desarrollada en este proyecto, permitió a la municipalidad conocer el estado de situación de sus procesos y aportará a su análisis de implementación de posibilidades que beneficien su funcionamiento, como el caso de instauración del cronograma de aforo propuesto, que incluso incluyó un reacomodo de su personal o la propuesta de Diagrama de aforo dada; así como los procesos establecidos para el levantamiento de inventario de hidrómetros en campo y el proceso de salida de bodega de los mismos para generar la información de catastro requerida por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP).

Por su parte, Lean Construction trata de una serie de acciones y principios varios implementados con objetivo de generar una mejora de la productividad en el campo de la construcción; a partir de reducir las actividades que no añaden valor y optimizar las que sí lo hacen. Sus inicios se dieron en la dirección de proyectos, por tanto, al igual que la mayoría de las investigaciones, lo pretendido con este proyecto fue generar parte de sus beneficios en una institución de servicio público.

Para ello, se asistió principalmente al plantel municipal, donde se concentra el personal encargado de desarrollar y planificar estas tareas; se determinó la situación actual de los procesos e identificaron desperdicios representados por un Diagrama Ishikawa, una de las herramientas de Lean Construction utilizadas. Así, mediante la observación de estos aspectos, fue posible realizar la implementación o sugerencia de posibles mejoras.

Los principios de Lean Construction se resumen en reducir las actividades que no aportan valor; aumentar valor a partir de las especificaciones de los clientes; reducir la variabilidad y tiempos de ciclo; simplificar procesos; aumentar flexibilidad y transparencia; analizar procesos completos; perseguir una mejora continua y balancear mejoras de flujos y actividades. Los manuales se generaron en dirección de aplicar dichos principios y bajo la idea de estandarizar el proceso, como parte de otra herramienta denominada 5s. Además, se aplican otras herramientas como el Poka-Yoke; buscando que los procesos después de concluir el proyecto sean efectuados de una mejor forma.

Se identificaron gran cantidad de deficiencias y restricciones al flujo de valor, las

cuales, para su intervención, en algunos casos, requieren de mayores esfuerzos e inversiones económicas. Sin embargo, existieron también modificaciones al procedimiento o en el caso de la sustitución de equipo que trajeron una mejora sustancial al desarrollo de los procesos. Cabe resaltar que esto último resulta como uno de los aspectos de mayor importancia para el cumplimiento del objetivo del desarrollo del proyecto, debido a la falta de capacidades en el equipo y la existencia de irregularidades detectadas en el uso de los formularios técnicos. Además, se identificaron aspectos con respecto a la normativa que se están incumpliendo en el proceso de registro de consumo, así como acciones del personal que estaban provocando confusiones e inexactitud de los datos en el proceso de aforo.

Dentro de los resultados también resalta mencionar que, en caso de las nacientes, se presentaron restricciones de legalidad de acceso en 45,9 % de estas e incluso la imposibilidad de ejecutar el aforo de forma apta en 55 %, entre otras que también lograron ser identificadas. Mientras, por otro lado, en caso del recorrido en el registro de hidrómetros, se determinó que en un 18,4 % de estos no se logró efectuar la lectura, así como se determinaron las causas donde el 58,5 % corresponde a hidrómetros detenidos.

Además, se observaron problemas de organización y coordinación en los procesos, lo que genera entre sus colaboradores desperdicios por tiempos de espera, transporte, defectos, así como desperdicios por inventario, movimientos innecesarios, procesos inadecuados y talento.

Contemplando las restricciones anteriormente mencionadas, así como otras identificadas, se diseñaron los manuales de procedimiento que definieron las características en las cuales estos pueden ser aplicados y norma el proceder que deben seguir los colaboradores del acueducto para cumplir exitosamente con la tarea, asegurándose de contemplar buenas prácticas en los procesos, mediante el seguimiento de la Guía de Prácticas Hidrológicas y el Manual de Aforo de Corrientes, ambos propiedad de la Organización Meteorológica Mundial como bibliografía consultada para los procesos de aforo.

Mientras, por otro lado, se consultan documentos oficiales de la municipalidad como el Reglamento para la Operación y Administración

del Acueducto de la Municipalidad y los resultados de la Auditoría Interna para los procedimientos de lectura, buscando que ambos procesos se ajusten a las necesidades y limitaciones del departamento.

De esta forma, como entregables a la municipalidad se presentan:

- Manual técnico de aforo por método volumétrico
- Manual técnico de aforo por método del molinete
- Manual técnico de registro de consumos a través de hidrómetros
- Formulario técnico para aforo volumétrico
- Formulario técnico de requisición de mantenimiento en nacientes
- Formulario técnico para aforo con molinete
- Formulario técnico para ingreso de hidrómetros a bodega
- Formulario técnico para catastro de hidrómetros
- Diagrama de sistema para aforo volumétrico
- Sistema localización geográfica de nacientes
- Hoja de cálculo para aforo volumétrico
- Cronograma de aforo volumétrico

A esto se le añade el Documento maestro de estandarización de aforo y el Documento maestro de estandarización de lectura de hidrómetros, donde se recopila toda la información generada en la investigación sobre los procesos, presentada en la sección de Resultados y Análisis de resultados de este proyecto.

A través de la documentación generada, así como con los cambios implementados y sugerencias planteadas, se espera que la municipalidad ejecute sus procesos con una mejor productividad, generando datos con mayor exactitud, transparencia y confiabilidad, y disminuyendo los errores en el proceso de medición.

Con el tiempo se generará una mejora del funcionamiento del departamento, la gestión de su principal elemento: el recurso hídrico y el cumplimiento de su servicio a la comunidad, significando una mejora en la vida de la población.

# Introducción

Posterior a la Revolución industrial, el mundo sufrió una de aceleración en el desarrollo de conocimiento y tecnología, que trajo consigo una modificación en la forma en que se desarrollan las sociedades. Con el crecimiento poblacional y situaciones generadas, como la contaminación y el calentamiento global, un mejor consumo de recursos se vuelve esencial para alcanzar el desarrollo humano, donde la construcción de edificaciones e infraestructura va estrechamente relacionada con el desarrollo económico de una población.

Con el pasar de los años, las investigaciones apuntan a una constante actualización e implementación de nuevas técnicas y metodologías, que permitan combatir las necesidades actuales en el mundo. Sin embargo, el sector construcción presenta una serie de características que aún hoy en día tiene un amplio margen de acción que podría generar gran cantidad de ventajas para la productividad de un sector, que no destaca por dicha cualidad y mucho menos en la región.

Leandro (2018) define la productividad como: “Medida de la efectividad de las habilidades del administrador de un proyecto, los trabajadores, los equipos y los materiales que son utilizados en el sitio de trabajo para obtener un producto”. Es decir, trata de la capacidad de producir valor, con el menor costo posible, lo cual es todo un reto aún más acrecentado en el país.

Enshassi et al. (2014) afirman que: “El sector de la construcción es considerado mundialmente como una de las principales fuentes de contaminación, pues produce enormes efectos negativos en el medio ambiente ya sea directa o indirectamente” y Argos (s.f.) sostiene que: “La construcción es la principal fuente de contaminación ambiental en comparación con otras industrias, donde este sector podría consumir hasta 60% de todas las materias primas extraídas de la tierra y la transformación de estas en materiales de construcción genera por ejemplo en caso solo de los fabricantes de cemento hasta

5% del total de emisiones de CO<sub>2</sub>”. Por lo que, si el sector logra aprovechar más los materiales, optimizar su transporte, el uso de maquinaria, entre otras acciones, tendría efectos positivos muy significativos.

Además, según Aragón (2020): “Se estima que la aplicación de Lean Construction en un proyecto constructivo podría generar una disminución significativa de errores, reducciones de hasta 20% del tiempo, 10% del costo en materiales e incluso de hasta 35% en mano de obra”. Es decir, al disminuir costos, se ve traducido en un aumento en las ganancias. Por ende, dicha filosofía se ha vuelto de gran relevancia y atractiva para el sector. Lo que hace interesante su aplicación en una institución de servicio público.

Por otro lado, el cantón de Paraíso trata de una población en la provincia de Cartago, que ha tenido un crecimiento poblacional sostenido en los últimos años. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), se proyecta que, desde 2011, el crecimiento de su población se incrementó en un 9,2%. Sin embargo, el desarrollo de infraestructura que permita el continuo abastecimiento del recurso hídrico se ha quedado estancado. Por tanto, ha sido reiterativo observar noticias con titulares como La Nación (2019): *La crisis por desabastecimiento de agua en Paraíso de Cartago encendió alarmas en la Asamblea Legislativa* y El Mundo CR (2020): *Defensoría elevó ante Sala IV situación de agua en Llanos de Santa Lucía de Paraíso*, refiriéndose a las manifestaciones de la población sobre esta situación ya en un ámbito legal. Es evidente que este departamento requiere de mayores esfuerzos para lograr su objetivo, además de que limita la posibilidad de desarrollo tanto residencial como comercial, y la aprobación de urbanizaciones o proyectos de vivienda.

Por ello, con la intervención de dos de los principales procesos, se espera que se pueda tener un verdadero control sobre la capacidad

hídrica de sus fuentes y el consumo por los usuarios; y así permita mejorar su gestión, su planificación de proyectos y sus ingresos; disminuyendo los aspectos que representan desperdicios para el acueducto y convirtiéndolos en beneficios directos para la comunidad.

## Objetivos

### Objetivo general

- Desarrollar metodologías para mejora de la productividad del Departamento del Acueducto Municipal de Paraíso bajo principios de Lean Construction.

### Objetivos específicos

- Determinar áreas de posible mejora bajo principios de Lean Construction en la ejecución actual de los procesos de aforo de nacientes y registros de consumo de agua.
- Estandarizar el proceso para la ejecución de aforo en nacientes y realizar implementaciones o sugerencias para levantar las restricciones al flujo de valor.
- Estandarizar el proceso para el registro de consumos de agua a través de hidrómetros y realizar implementaciones o sugerencias para levantar las restricciones al flujo de valor.
- Añadir estandarización de proceso de registro de salida de bodega y levantamiento de inventario de hidrómetros.

## Planteamiento del problema

Mejorar la productividad de los procesos de estimación de producción y consumo hídrico

mediante Lean Construction en el Departamento del Acueducto de la Municipalidad de Paraíso, para mejorar el consumo de recursos en el suministro de agua a la comunidad y que el mismo sea de forma igual y continua para los usuarios de este cantón.

Este departamento se caracteriza por una constante crítica y denuncia de ineffectividad, ya que no cumple con su objetivo en la prestación del servicio. Por tanto, se pretende que, con el desarrollo de este proyecto, sea de aporte en la mejora del departamento, al intervenir los procesos que permiten un mejor manejo del recurso de este y el cobro por el servicio.

## Antecedentes

A pesar de que Lean Construction es reciente en el sector, sus efectos positivos lo han vuelto bastante atractivo, al punto de considerarse estar actualmente en un auge y ser un concepto popular entre las nuevas generaciones de profesionales.

Su nacimiento propiamente en la construcción se dio en su mayoría en la dirección de proyectos; por tanto, a nivel mundial casi la totalidad de investigaciones se han realizado en esta área. Sin embargo, en Costa Rica, su llegada y aplicación ha sido más lenta, al punto de existir relativamente pocos estudios al respecto.

Se pueden encontrar proyectos desarrollados con la aplicación de Lean Construction, donde se identifica la investigación realizada en 2011 por David Zander, titulada: *Análisis de la Aplicación de la Construcción Flexible a las Diferentes Fases del Proyecto*, la cual hace referencia a Lean Construction, aunque la traducción no es realmente aceptada. En este, según Zander (2011): “Se analizó los resultados de aplicar la metodología Last Planner a un proyecto de construcción de una estación de bombeo, mediante la medición de rendimientos semanales con resultados con tendencia a la mejora”. Last Planner trata de una herramienta directamente relacionada a planificación y supervisión de proyectos, por excelencia referente de esta filosofía. Sin embargo, para el fin del proyecto por desarrollar, no es del todo aplicable o idónea, por lo que se recurre a otras herramientas.

También se encuentran investigaciones desarrolladas sobre proyectos de vivienda de bien social, donde se puede citar la investigación realizada en 2017 por Greivin Alpízar llamada *Aplicación de Lean Construction a través de la metodología Last Planner a proyectos de vivienda social de la Fundación Promotora de Vivienda (FUPROVI)*, cuya aplicación de la misma herramienta también concluyó en un flujo de trabajo más fluido y la detección de causas de atraso de las actividades constructivas de la empresa.

Se identifica una investigación aplicada en el Departamento de Acueducto de la Municipalidad de Santo Domingo de Heredia en 2017, por José Castillo; en la cual propone una guía metodológica para gestión profesional de los proyectos de obra pública. En esta se exploran varias oportunidades de mejora y se hace parte la estandarización, confección de varias plantillas y un cronograma, que facilitan la gestión y mejora de los procesos en proyectos constructivos. Es decir, a pesar de que se realiza en un departamento con el mismo fin, no se hace en las tareas propias del departamento, sino que se direcciona en la ejecución de proyectos constructivos que este realiza.

Por otro lado, existen diversos trabajos realizados para la generación de manuales de procedimientos para prestadores del servicio de abastecimiento de agua realizados en el país, como para Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (conocidas como ASADAS); sin embargo, en ninguno aplican Lean Construction. Se puede citar el caso de un proyecto realizado por el Tecnológico de Costa Rica en 2016, acerca de la evaluación de la gestión de la ASADA de Río Macho, Orosi, Paraíso; desde una perspectiva del uso sostenible del recurso hídrico, como parte de la Propuesta para el mejoramiento de las condiciones de saneamiento ambiental en ASADAS de la provincia de Cartago.

En este, se presenta una guía para diversos procedimientos, como el aforo de nacientes por método volumétrico y un respectivo formulario técnico, cuyo resultado es realmente similar. En estos, por un lado, en el manual, se incluye su descripción, el equipo necesario y su procedimiento, de una forma simple y sin especificaciones. Cabe resaltar que se proponen siete repeticiones para el proceso de medición, sin embargo, en el cuerpo del trabajo, en ninguna

parte hace referencia del porqué esta, entre otras decisiones. Además de que se obvian aspectos técnicos sugeridos por guías de organizaciones internacionales. Por lo que se puede determinar que el alcance de este llega hasta una propuesta básica de los procedimientos, pero aborda otros aspectos de la caracterización de la ASADA en estudio en específico. Mientras que, dentro del proyecto por desarrollar, el alcance posterior a la definición de los procesos aborda la identificación e intervención de las áreas de mejora o en su caso la sugerencia a la municipalidad sobre los desperdicios usuales que los afectan.

También, se puede citar un proyecto realizado por Paula Rojas, sin fecha de publicación, titulado: *Elaboración de un Manual de Procedimientos para la Municipalidad de San Carlos*. En este se aborda el establecimiento de varios procedimientos desde una índole administrativa en diferentes departamentos, donde, en este caso, es de interés que se incluyen procesos referentes a la lectura de hidrómetros desde un punto de vista de atención de reclamos o sustitución de medidores. Sin embargo, a pesar de que va direccionado a una reducción de pasos y de costos, no son realizados bajo principios de Lean Construction, ya que se aborda especialmente a una reducción de costos por medio de la digitalización de pasos y documentos, pero no analiza propiamente los detenimientos en el flujo de valor cuando se ejecutan los procesos en campo, lo cual sí está dentro del alcance del proyecto por realizar.

Al igual que el ejemplo anterior sobre el aforo, a pesar de que sí toma en cuenta la normativa interna municipal, obvia aspectos de la norma nacional. Esta última se hace parte, ya que es de acatamiento obligatorio; por lo que permite que, además de identificar las mejoras en el proceso, se pueda sugerir las modificaciones para cumplir con el correcto acatamiento de estos.

De esta forma, las primeras tres investigaciones citadas funcionan para observar el éxito de la aplicación de Lean Construction en el país; y poco a poco, conforme a que las mismas se continúen desarrollando, se seguirá produciendo información que permitirá el análisis de los efectos de la aplicación de estas herramientas. Mientras que las dos últimas investigaciones mencionadas sirven para comparar los resultados de los manuales resultantes y tener una perspectiva de qué

aspectos difieren o pudieron ser obviados; pero de una forma muy generalizada. Al definir los procesos, pero no analizar las características de los recursos o el ambiente en el que se ejecutarán, se obvian acciones de mejora como posibles cambios de equipo, lo que sí se efectúa en el proyecto, que en su caso traerá una sustancial mejora al desarrollo de los procesos. Por tanto, el desarrollo de este proyecto se hace parte de las investigaciones que promueven la mejora del consumo de recursos en el sector, desde una aplicación diferente a la línea que esta se ha desarrollado mayormente.

## Alcance y limitaciones

- Este proyecto se planteó para las fuentes correspondientes a nacientes, sin embargo, se deja abierta la posibilidad de aplicar el mismo método según las restricciones indicadas en pozos, en caso de que se decida realizar las instalaciones de sistemas de aforo adecuados.
- Desde la presentación del anteproyecto al inicio de este, se seleccionaron los volúmenes de control para aforo por parte del acueducto.
- Se da la implementación del cronograma de aforo, sin embargo, no a totalidad semanalmente como era pretendido por la jefatura, debido a una situación presentada en el mes de enero, respecto al recurso del vehículo.
- Se genera una propuesta para tres fuentes en específico, donde no es aplicable el método volumétrico, para el cual se solicitó aplicar el método por el molinete. Sin embargo, no se puede definir la totalidad del método debido a que se trata de fuentes aún sin concesión, por lo que no se han legalizado los accesos.
- Además, debido a que el método del molinete pretende aplicarse en un mediano plazo y a que el algoritmo de medición y de cálculo varía según las características del cauce, este se deja

como guía, para que el acueducto lo pueda utilizar como base, cuando vaya a efectuar el procedimiento.

- En el desarrollo de este proyecto no se realizan modificaciones a las rutas de lectura de hidrómetros establecidas por la supervisión de los lectores. Debido a la variedad de aspectos que deben contemplarse para realizar modificaciones, el tiempo se vuelve una limitante.
- De igual forma, este proyecto tampoco modifica la programación de la tarea de lectura, ya que se indica que anteriormente se ha intentado, pero es más funcional que cada lector lleve su programación de ruta aparte, porque no se logra mantener coordinado, además que, hasta posterior al levantamiento catastro de hidrómetros, se tendrá información certera y actualizada sobre los mismos.
- Este proyecto no incluye el proceso de instalación de hidrómetros en campo ni aspectos sobre sus accesorios.
- Durante el desarrollo de este proyecto, no se profundiza con detalle la utilización de las aplicaciones del colector de datos adquirido, ya que, al momento de finalización de este, realmente no se ha iniciado su uso por restricciones ajenas al acueducto en proceso de solución.
- Este proyecto no aborda el procedimiento por inspección ni aspectos sobre el cómo se aprueba la sustitución de un hidrómetro ni la aprobación de nuevas pajas.
- El proyecto menciona los artículos para la resolución de casos sin profundizar en aspectos referentes a cálculos de multas o formas de cobro en los impedimentos de lectura encontrados, lo cual viene indicado en el Reglamento para la Operación y Administración del Acueducto de la Municipalidad de Paraíso.

# Marco teórico

Para sustentar este proyecto desde el punto de vista de entendimiento teórico, se incluyen en este apartado dos secciones donde se describe primeramente la filosofía de Lean Construction y después los conceptos relacionados al campo de la hidráulica necesarios para el entendimiento de los procesos por estandarizar.

## Lean Construction

Trata de una forma de pensamiento o percepción, como filosofía no se refiere a un concepto en específico, sino que trata de una serie de acciones y principios varios implementados con objetivo de generar una mejora permanente en la productividad en el campo de la construcción. Por ende, este se ha ido construyendo a partir de una serie de observaciones de buenas prácticas en procesos de manufactura para implementarse en la construcción, buscando generar un mayor valor a los productos generados bajo una disminución de desperdicios.

Según Lean Construction Institute (LCI, s.f.): "Trata de una organización internacional sin fines de lucro, cuyos miembros tienen la misión de transformar la industria de diseño y construcción bajo pensamiento, herramientas y técnicas Lean; a través del desarrollo de conocimiento bajo programas de investigación de la misma". A nivel mundial, es la institución con mayor prestigio de la implementación de este concepto en el campo constructivo.

LCI define el término como (2020): "Filosofía que se orienta a la gestión de la producción en la construcción, teniendo su origen en la fabricación automovilística japonesa; cuyo objetivo principal es reducir y eliminar las actividades que no añaden valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen. Se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y en un buen sistema de producción que

minimice los residuos sin generar una disminución en la calidad del producto". Feigenbaum (1990) define el término calidad como: "Satisfacción de las expectativas del cliente"; en el caso del proyecto para los habitantes del cantón de Paraíso, el recibir un suministro hídrico suficiente e ininterrumpido, además de que el mismo debe cumplir con todos los lineamientos establecidos de salubridad.

El término "Lean" se origina en Japón a fines de la década de los 50, como producto de las investigaciones realizadas por ingenieros de una empresa ensambladora de automóviles que pretendía mejorar su línea de producción. Uno de sus principales desarrolladores fue el ingeniero Taiichi Ohno, quien buscaba eliminar los residuos y mejorar los tiempos de entrega de los automóviles a los clientes, generando el Toyota Production System, una idea de producción sin pérdidas (Porras, Sánchez y Galvis, 2014). Posteriormente, alrededor de los 80, la idea migra hacia Norteamérica y Europa, e implementada en otros campos como la administración e industria en general.

Koskela L. (1992) induce oficialmente el término "Lean Construction" con la publicación de su artículo *Aplicación de la Nueva Filosofía de Producción a la Construcción*, donde afirma que: "En la manufactura, la nueva filosofía de producción mejora la competitividad mediante la eliminación de las actividades generadoras de desperdicios; mientras que tradicionalmente en la construcción únicamente es visto desde un punto de vista de generador de valor", además, agrega que: "La construcción es un sistema de producción que se funda en proyectos con gran incertidumbre en la planificación y una mala concepción de la producción; teniendo una posible mejora dramática mediante la identificación y eliminación de actividades sin valor".

Sin embargo, se debe tener claro que la industria de la construcción tiene algunas desventajas con respecto a la industria de la manufactura, citadas por Aragón D. (2020) como: "Poca capacitación, deficiente planificación, alta accidentalidad, influencia de condiciones climáticas, discordias entre participantes, y fragmentación de los procesos", pero la idea es aplicar sus principios buscando mejoras

similares. Esto lo hace de mucho valor para una institución de servicio público, pues mejora la eficiencia del uso de recursos; una necesidad enorme del acueducto municipal.

Dentro de la filosofía, actualmente se establece la clasificación de ocho tipos de desperdicios que afectan la productividad, los cuales se muestran a continuación:



**Figura 1.** Clasificación de desperdicios según la filosofía Lean Construction. Fuente: Material suministrado por PEC-UCR.

Los desperdicios de sobreproducción son asociados a generación de excesos; los desperdicios de inventario a poco control y mantenimiento de innecesarios; desperdicios por movimientos innecesarios a traslados largos y repetitivos dentro del sitio; los desperdicios por procesos inadecuados a retrocesos por corrección o afectación a la calidad; los desperdicios por defectos a los residuos y pérdida de recursos; los desperdicios por esperas a interrupciones al flujo de valor; los desperdicios por transporte al consumo de recursos que consume transportar material o recurso humano y los desperdicios de talento asociados al desaprovechar y limitar las capacidades del personal (Aragón, 2020).

## Principios de Lean Construction

Koskela L. (1992) describe la aplicación de los principios de Lean Construction de la siguiente forma:

1. Reducir las actividades que no aportan valor al cliente: buscar dar énfasis a lo que es pagado por el cliente y eliminando el consumo de recursos innecesarios.
2. Aumentar valor a partir de las especificaciones de los clientes: determinar cómo se satisfacen las necesidades y expectativas del cliente.

3. Reducir la variabilidad: estandarizar procesos, generar capacitación y claridad de entendimiento de instrucción.
4. Reducir el tiempo de ciclo: reducir tiempos de espera, minimizar recorridos y transportes, ordenar actividades en paralelo, sincronizar flujos, atención a resolución de restricciones.
5. Simplificación de los procesos: eliminación de pasos, utilización de herramientas tecnológicas para automatizar procesos repetitivos para disminuir errores.
6. Aumentar la flexibilidad: capacidad de sustitución de funcionarios y adaptación de horarios.
7. Incrementar la transparencia de los procesos: hacer el proceso productivo transparente y observable para facilitar el control y la mejora.
8. Analizar procesos completos: medir procesos completos y establecer un responsable por el cumplimiento de este.
9. Introducir la mejora continua (Kaizen): establecer un método para siempre buscar qué aspecto mejorar.
10. Balancear mejoras de flujos y actividades: procesos más efectivos mediante ordenamiento de consumo de recursos.
11. Benchmarking: realizar comparación directa o técnicamente entre grupos de trabajo con características similares y encontrar oportunidades de mejora

Sin embargo, debe tenerse presente que no significa que los principios se limiten a las acciones ejemplificadas, su origen es muy reciente y como filosofía va evolucionando, formando parte cada vez más nuevos estudios que ponen a prueba la implementación de nuevas acciones y herramientas.

## Herramientas de Lean Construction

Existe una gran variedad de técnicas y herramientas adaptadas a esta filosofía, pero las que son de interés para el desarrollo de este proyecto se describen a continuación:

## 5 S

Atribuida a Dr. Kaoru Ishikawa, trata de una herramienta que permite aplicar varios de los principios Lean Construction a la ejecución de procesos mediante la aplicación de cinco conceptos definidos del japonés: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke; que significan: Clasificar, Ordenar, Limpieza, Estandarizar y Disciplina, respectivamente.

Los principios de esta herramienta National Productivity Corporation (NPC, 2005) los describe de la siguiente forma, ejemplificado a un lugar de trabajo:

- 1- Clasificar: clasificar y descartar artículos de forma sistemática que no son necesarios en el lugar.
- 2- Ordenar: organizar los elementos necesarios de forma ordenada y sistemática para que puedan ser fácilmente localizados para su uso y devolución después de su uso.
- 3- Limpieza: limpiar e inspeccionar el lugar de trabajo a fondo para que no haya suciedad en el piso, máquinas y equipos.
- 4- Estandarizar: mantener un alto nivel de trabajo organizativo manteniendo todo limpio y ordenado en todo momento.
- 5- Disciplina: capacitar a las personas para que visualicen el sistema 5S continuamente, con el fin de que se convierta en habitual y arraigado en la cultura de la organización.

Esta herramienta es aplicada indirectamente en la generación de los manuales, es decir, se aplica a los procesos a la hora de tomar las decisiones sobre los pasos y la forma de evitar que se presenten restricciones, bajo una estandarización de estos procedimientos. Esta última, precisamente, para una mejora en la eficiencia del consumo de recursos y poder generar un mejor control para la supervisión de los procesos, al notificarse como una de las necesidades importantes de la municipalidad.

## Poka-Yoke

Consiste en otro término proveniente del japonés que significa: “A prueba de errores”, el cual

Hirano H. (1991) afirma que: “Aunque ha sido utilizado por mucho tiempo, fue Shigeo Shingo quien desarrolló la idea como herramienta para reducir los defectos. La idea detrás de esta herramienta consiste en asumir las tareas repetitivas y que requieren de memoria, buscando formas de disminuir las posibilidades de error”. La idea es que un trabajador necesite dedicar menos tiempo y destreza mental mediante una simplificación del proceso y que pueda aportar más de su atención a otras actividades que generen valor.

Los ejemplos de mejora no están estrictamente relacionados a la manufactura o la construcción, ya que un Poka-Yoke puede incluir desde un cambio de diseño que requiere de suficiente tiempo para implementarse, hasta acciones realmente simples como la empleada en el proceso de aforo, las cuales se pueden hacer parte de la vida cotidiana para mejorar la efectividad personal, por ejemplo, una codificación numérica o de colores para un juego de llaves. Es decir, como afirma Hirano H. (1991): “Cualquiera sea la profesión, la aplicación de esta herramienta en un ambiente de trabajo, despierta la imaginación de planificar o implementar sistemas de prevención de errores”.

Para la implementación de este tipo de tareas, se debe tener la convicción de que los errores son inevitables, pero pueden mitigarse y para ello debe tenerse la capacidad de identificarse, por lo que Hirano H. (1991) enlista los 10 errores humanos a continuación:

- 1- Olvidos: falta de atención, concentración y distracciones.
- 2- Desconocimiento: conclusiones incorrectas por falta de criterio.
- 3- Identificación: falta de vigilancia o evaluación muy rápida.
- 4- Inexperiencia: falta de práctica o familiarización.
- 5- Voluntarios: omisiones a detalles.
- 6- Inadvertencia: sin conocimiento certero.
- 7- Lentitud: retrasos en el juicio de decisión.
- 8- Falta de estándares: falta de instrucciones, normativas o manuales.
- 9- Sorpresa: funcionamiento diferente a los esperado.
- 10- Intencionales: deliberadamente.

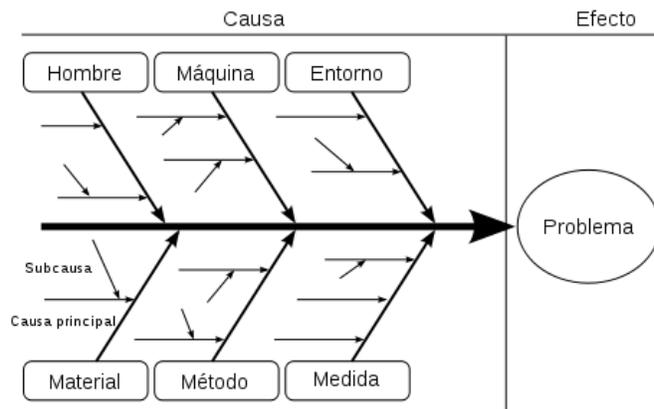
## Diagramas de Ishikawa

Consiste en una herramienta gráfica, llamada comúnmente Diagrama de Causa-Efecto o

Diagrama de Pescado, la cual Álvarez (2020) describe: “Se trata de una herramienta para el análisis de los problemas representando relación entre un efecto (problema) y todas las posibles causas que lo ocasionan”.

“Su estructura se compone por un recuadro que constituye la cabeza del pescado, una línea principal, que constituye su columna, y de 4 a más líneas apuntando a la línea principal formando un ángulo de unos 70°, que constituyen sus espinas principales. Cada espina principal tiene a su vez varias espinas y cada una de ellas puede tener más” (Álvarez, 2020).

De esta forma, para la realización del proyecto, en ambos casos la cabeza de los diagramas corresponde a los procesos de registro de aforo y de consumo, por otro lado, sus espinas son las restricciones encontradas. Por lo que, a través de este, se logra visualizar de una mejor forma cómo plantear estrategias que permitan cumplir con los objetivos de los procesos. Dicha estructura se puede visualizar a partir de la figura 2, donde sus causas se pueden agrupar según convenga.



**Figura 2.** Estructura base de un diagrama de Ishikawa.  
Fuente: Lean Construction México (Internet).

## Gemba Walk

Consiste en un término que proviene del japonés, y se refiere al “Sitio de acción”, la cual según Reyes (2020): “Es la práctica de observación y colaboración en el lugar donde se está trabajando, recopilar información y comentarios, así como presenciar procesos de primera mano con un ojo en las oportunidades de mejora”.

Los procesos deben ser constantemente observados para la rápida identificación de desperdicios y la mejora continua, para la cual se debe asistir al sitio en que se desarrollan los procesos y observar a los ejecutores de estos. Reyes (2020) afirma: “Los empleados también tienden a ser más propensos y capaces de describir ineficiencias, riesgos de seguridad y otras preocupaciones cuando están en su propio espacio de trabajo, sin embargo, la idea es identificar los problemas que estarán presentes independientemente de la rotación de empleados”.

Además, Womack (2010) afirma que: “Una herramienta indispensable para la mejora es incluir a los responsables de los procesos en las acciones de solución de problemas para que puedan tomar parte en la mejora de su propio trabajo. Así aumenta la implicación, la aceptación de la solución y la sostenibilidad de la solución”.

## Ventajas de la aplicación de Lean Construction

Aragón D. (2020) ejemplifica algunas ventajas de la aplicación de principios y herramientas de Lean Construction de la siguiente forma:

- Mayor calidad y productividad.
- Reducción de gastos por tiempo, mano de obra y energía.
- Reducción de costos en inventario y material innecesario.
- Mayor espacio para el trabajo y la empresa.
- Mayor trabajo en equipo y cooperación.
- Mayor conocimiento del puesto de trabajo.
- Mejora seguridad laboral y reducción de riesgos de accidentes.
- Mejora de las condiciones de trabajo y el ambiente laboral.
- Mejora de la eficacia de la empresa.
- Disminución de tiempos muertos.
- Mejor conservación del espacio de trabajo.
- Aumento de la vida útil de equipos y herramientas de trabajo.
- Reducción de pérdidas por tiempos de espera.

- Mayor limpieza, aseo y condiciones físicas en general.

A pesar de que se suele diseñar una ruta para una mejora en específico, la implementación de una herramienta o un principio trae consigo efecto con otras ventajas. La idea es que, a partir de todas las decisiones y acciones durante el proyecto, la mayor parte de beneficios anteriormente mencionados, aunque en diferente medida, vengán a mejorar el desarrollo de labores del acueducto en un mediano plazo mediante la mejora continua y disciplina.

## Suministro hídrico

Las tareas de proceso de aforo de fuentes se realizan para conocer la producción hídrica de un sistema de abastecimiento, mientras que el registro de consumo para conocer su gasto, además, poder facturar los ingresos por el servicio y de esta forma tener los datos necesarios para que la institución pueda gestionarse eficientemente. Para comprender los procesos que se están interviniendo durante el desarrollo de este proyecto, se debe conocer los siguientes conceptos:

**Acueducto:** “Sistema formado por obras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución, cuyo objeto es captar, tratar y distribuir agua potable, aprovechando la gravedad, o bien, la utilización de energía para su correspondiente bombeo, con la finalidad de proporcionar agua potable a un núcleo de población determinado” (ARESEP, 2008).

**Dotación de agua:** el Instituto Privado de Investigación sobre el cambio climático de Guatemala (2017) define la dotación como la: “cantidad de agua que se asigna para cada habitante y que incluye el consumo de todos los servicios que realiza en un día medio anual, tomando en cuenta las pérdidas”. Esta es expresada en unidades de litros por habitante al día.

### Aforo de fuentes

**Caudal:** según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (s.f), se define caudal como: “Relación del volumen de agua que pasa a través de una sección por unidad de tiempo, la cual puede expresarse en metros cúbicos por segundo o en litros por segundo”, es decir, corresponde a la cantidad de agua que pasa por un espacio de área en un tiempo determinado.

**Naciente de agua:** según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (s.f), una naciente, a la cual también se le puede llamar manantial, corresponde a una: “Fuente natural de agua que brota de la tierra o entre las rocas, puede ser permanente o temporal. Se origina en la infiltración de agua de lluvia que penetra en un área y emerge en otra de menor altitud, donde el agua no está confinada en un conducto impermeable”.

**Pozo de agua:** el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (s.f) define un pozo como una: “Perforación en el suelo para obtener agua subterránea, a través de un tipo de sistema que aprovecha los estratos profundos del subsuelo para la disposición del agua residual y que permite a los líquidos tratados filtrarse a través del fondo y las paredes”.

**Río:** el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (s.f) caracteriza un río como una: “Corriente natural de agua que fluye con continuidad con un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, desemboca en el mar, en un lago o en otro río”.

**Quebrada:** el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (s.f) separa la definición de quebrada mencionando que la misma: “Trata de un río, pero con un caudal pequeño que suele ser afluente de un río”. Eso sí, sin hacer mención de la magnitud de estos, sin embargo, para el objetivo de aforo pueden considerarse en igual condición.

**Volumen de control:** según la Real Academia Española (RAE) (s.f.), en geometría, se conoce por volumen a: “Un espacio ocupado por un cuerpo”, el cual para este caso hace referencia al espacio conocido ocupado por el recipiente de control que se utiliza para la obtención del aforo por el método volumétrico.

**Aforo:** Basán (2008) afirma que: “Aforar una corriente de agua es determinar en un momento dado el valor del caudal, donde a la operación se le llama aforo y las personas que ejecutan la medición aforador”, por lo que, de esta forma, se

entiende por aforo el obtener la medición de un caudal.

**Aforo volumétrico:** el Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático de Guatemala (2017) tiene un Manual de Medición de Caudales donde define el aforo volumétrico como: “Método Usado para corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto de los usualmente utilizados, a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa. Consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito”.

**Correntómetro o molinete:** Basán (2008) define este instrumento como el: “Equipo que contabiliza las revoluciones que efectúa la hélice al ser sumergida en una corriente de agua. La velocidad se obtiene mediante una curva de calibración que relaciona las revoluciones por segundo con la velocidad”, es decir, es un instrumento utilizado para correlacionar la velocidad de un cuerpo de agua para la obtención de su caudal.

**Tirante hidráulico:** viene a representar la profundidad del flujo, es decir, si un flujo es hondo o no. Basán (2008) la define como: “La distancia perpendicular desde la superficie libre del agua al fondo, resultado de dividir el área hidráulica por el ancho superficial de la misma”.

**Área transversal o hidráulica:** corresponde al mismo término, según la OMM (2011) definido como: “Perfil en sentido perpendicular al eje de un curso de agua, utilizado en diversos tipos de cálculos hidráulicos, cuya determinación depende del uso a que se vaya a destinar”. En otras palabras, corresponde al área generada por el corte de un plano perpendicular a la dirección del flujo.

**Aforo pozos:** para Basán (2008), se entiende por este tipo de aforo: “El utilizado en ensayos de bombeo o perforaciones de pozos, para determinar el rendimiento de dichas obras y así poder optimizar la gestión del mismo como el caso del equipo de bombeo requerido”. Se debe hacer énfasis en que, en caso de los pozos, sus caudales no representan su producción hídrica, sino como se menciona, su rendimiento.

## Registro de consumo

**Consumo:** el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (s.f) define consumo como: “Cantidad de agua potable utilizada en un servicio por un período, expresado en metros cúbicos. Se clasifican dos tipos de consumo: medido y estimado”.

**Micromedición:** según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (s.f), una micromedición: “Es el conjunto de acciones que permiten conocer sistemáticamente el volumen de agua consumido por los usuarios con patrones preestablecidos de cobro justo y equitativo. Se aplica a todas las categorías de usuarios y comprende las actividades permanentes de instalación, lectura y mantenimiento de los hidrómetros y su sistema de protección: cajas de protección y mecanismo de control”.

**Hidrómetro:** el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (s.f) afirma que un hidrómetro es un: “Dispositivo o instrumento para la medición del volumen de agua que lo atraviesa”. Es decir, es la herramienta utilizada para estimar los consumos de agua que son medidos. Un ejemplo de hidrómetro se presenta en la figura 3.



**Figura 3.** Hidrómetro propiedad del acueducto. Fuente: fotografía propia.

**Lector:** en el Manual de perfiles de puestos, la Municipalidad de Paraíso (2020) define al lector como el trabajador que: “Debe realizar las lecturas de los diferentes servicios medidos del acueducto, así como todo tipo de inspecciones referentes a las lecturas, cambios de medidores, reportes y cierres mensuales”.

**Abonado o contribuyente:** Municipalidad de Paraíso (2020) lo define como: “Persona física o

jurídica a cuyo nombre aparece registrado el servicio que le brinda el prestador”.

**Alto consumo:** por definición: “Es aquel que supere en un 100% el consumo promedio normal del abonado” (Municipalidad de Paraíso, 2020).

**Colector de datos:** “Terminales portátiles y compactos, diseñados para el uso diario en aplicaciones que requieren almacenamiento de datos” (Municipalidad de Paraíso, 2020).

**Capacidad hidráulica:** la Municipalidad de Paraíso (2020) la define como la: “Condición de la infraestructura instalada de los sistemas de abastecimiento y saneamiento para trasegar los caudales para la prestación de los servicios”.

**Servicio medido:** trata de un tipo de servicio que incluye: “Aquellos que se pagarán de acuerdo con los consumos efectuados y registrados a través del medidor de agua y se cobrará de acuerdo con las tarifas autorizadas por el Concejo Municipal” (Municipalidad de Paraíso, 2020).

**Servicio fijo:** “Son aquellos que se pagarán de acuerdo con una tarifa fija y se cobrará de acuerdo con las tarifas autorizadas por el Concejo Municipal” (Municipalidad de Paraíso, 2020).

# Metodología

## Generalidades

Este proyecto se llevó a cabo entre los meses de setiembre del 2020 y febrero de 2021; como parte de los frentes de intervención para el saneamiento del acueducto en la Municipalidad de Paraíso. Se realizó una asistencia a ingeniería en medio de una serie de acciones de la nueva administración municipal para cumplir con uno de sus objetivos de mejora.

Durante este tiempo, se asistió principalmente al plantel municipal, donde se concentra el personal encargado de desarrollar y planificar estas tareas; al palacio municipal, donde se llevaron a cabo diversas reuniones con personal administrativo y a los diversos sitios a los que se asistió alrededor del cantón para la realización de observaciones.

El desarrollo de los objetivos planteados en este proyecto se basó en dos frentes correspondientes a dos tareas fundamentales en el funcionamiento del acueducto; enfocados a los procesos de determinación, producción y consumo hídrico. Así, mediante el primer objetivo, se determinó la situación actual de los procesos y se identificaron áreas de mejora a través de los principios de Lean Construction, para contemplar los desperdicios y restricciones en el diseño de estos, durante el desarrollo de los restantes objetivos.

En el caso del diseño de los procesos, se realizó una investigación sobre los aspectos que se debían tomar en cuenta para que los procesos sean aptos, funcionales, sencillos y que con su implementación permitan una generación de mayor valor de estas tareas, tratando de implementar acciones que disminuyan los detenciones en el flujo de valor.

Para ello, se asistió a jornadas laborales a la oficina, donde se comenzó un involucramiento en el ambiente de trabajo junto a ingenieros, secretarios administrativos, lectores, peones,

entre otros funcionarios parte del acueducto. Esto último es de relevancia, pues, al tratarse de un ente de servicio público, se debió tener un criterio de decisión mucho más amplio que únicamente de ingeniería, pues existieron de por medio aspectos de presupuesto, garantías laborales, servicio a la comunidad e inclusive políticos.

Previo a haber abordado el desarrollo de los objetivos, se debía tener en conocimiento los conceptos derivados de la filosofía Lean Construction, incluidos en el capítulo introductorio; junto a algunos conceptos en el campo de hidráulica ya definidos en la misma sección. Para esto, fue de mucho aporte haber participado del curso *Principios de Lean Construction* impartido por parte del Programa de Educación Continua de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. Además, se consultó diferente bibliografía al respecto en internet; al igual que los documentos pertenecientes a instituciones nacionales e internacionales, referentes a conceptos hidráulicos y de manejo de un acueducto público. A esto se le añadió la identificación de necesidades o solicitudes directas por parte de la jefatura, en torno a la línea de modificación deseada, las cuales se obtuvieron mediante la participación de la comisión y recapitulación de indicaciones por consultas directas.

## Identificación de restricciones y áreas de mejora

### Proceso aforo de nacientes

Se generó un Documento Maestro, donde se inició con la recolección de información suministrada con respecto al listado de fuentes de las cuales la municipalidad hace uso para obtener el recurso hídrico, para ello se accedió al documento del Plan Maestro de Mejora del Acueducto, recientemente generado a mediados de 2020. Se realizó un levantamiento de los

funcionarios que aportan a la labor junto con cierta información característica de interés y se comenzó a barajar posibilidades de modificaciones que permitieran lograr el objetivo deseado por el acueducto de obtener datos sobre la producción de sus nacientes de forma semanal. Posteriormente, en la normativa interna tanto en el Reglamento para la Operación y Administración del Acueducto como en el Manual de Perfiles de Puestos, se identificaron los alcances del personal, así como otros aspectos de relevancia para el desarrollo del proyecto.

Una vez recabada la información mencionada, se inició con una amplia consulta a la normativa en Costa Rica y a las guías recomendadas a nivel internacional, ya que estas son referencia para los entes estatales. El acceso a estas se dio mediante el uso de internet, inicialmente realizando la investigación sobre la normativa referente desde un marco estatal, propiamente por el Departamento de Aguas, perteneciente al Ministerio Nacional de Ambiente y Energía (MINAE). Este último, a su vez, basa sus lineamientos en las recomendaciones de la Guía de Prácticas Hidrológicas y el Manual de Aforo de Corrientes, ambos propiedad de la Organización Meteorológica Mundial. En estos documentos se basan los pasos y consideraciones para establecer una forma para el proceso de medición.

Debido a características propias de las fuentes, se debió separar tres grupos diferentes dependiendo del método aplicable. El primer grupo, correspondiente a las nacientes a las cuales se les determinó aplicar el método volumétrico, concentra casi la totalidad de estas, por lo cual, de previo a la realización del proyecto, se solicitó desarrollar con mayor prioridad. El segundo grupo corresponde a tres fuentes cuya utilización se proyecta a mediano plazo, a las cuales se les propuso un método diferido debido a sus características y, por último, el grupo de los pozos, los cuales se incluirán como si se les fuese a aplicar el método volumétrico.

Consecutivamente, a partir de la información obtenida, se investigó sobre los requerimientos de equipo, su posible sustitución y calibración, además de identificarse las necesidades de anotación en bitácora.

Para el caso únicamente de las nacientes, inmediatamente, se realizó una observación preliminar del proceso, con el fin de

mejorar la perspectiva de visualización de este e identificar aspectos a los que prestar detalle durante las visitas de inspección. En dicha observación, se inició una serie de consultas al personal como parte del acercamiento a los puntos de vista propios, al ser quienes ejecutan la acción, buscando sea de aporte para la determinación de la situación actual en que ejecuta el proceso.

Al identificarse como restricción del proceso, se generó una propuesta de Cronograma de aforo de nacientes para planificar y estandarizar una ruta de trabajo. Este se desarrolló, principalmente, a partir de las características geográficas de las nacientes, sin embargo, se toman en cuenta otras restricciones que afectan un continuo desarrollo del flujo de valor, que en su momento se detallan.

Posteriormente, con el desarrollo del proyecto, se realizó un acompañamiento a la totalidad de las nacientes según la propuesta de cronograma estilo Gemba Walk, para, además de cumplir con la observación de la vialidad del recorrido, realizar la observación de las características propias de las fuentes en campo y restricciones que interfirieron con el proceso afectando la productividad. Para esto se utilizó una hoja de observación desarrollada en Excel, según las necesidades de observación interpretadas a partir de la observación de campo provisional y el acercamiento al personal.

Luego del recorrido, se evaluaron sus resultados y se describió el informe entregable al acueducto, donde se detectaron restricciones al flujo de valor y se sugirieron posibles acciones de mejora. De esta forma, fue posible la generación del Diagrama de Ishikawa, donde se representa gráficamente las restricciones identificadas para que el proceso se ejecute exitosamente.

## **Proceso registro de consumos**

Mediante la asistencia al acueducto, se utilizó una línea muy similar para la detección de aspectos que se debían tomar en cuenta para la generación del manual de esta tarea. Toda la información se recolectó en un documento maestro, para el cual, de igual forma que para la tarea anterior, se inició con una sección donde se abordaron los conceptos teóricos necesarios para el entendimiento de este. Seguidamente, se incluyeron los resultados de la Comisión de

Mejora del Acueducto, de la cual se formó parte junto a miembros encargados de otros departamentos, con el fin de hacer un acompañamiento al análisis sobre lo dispuesto en una auditoría realizada sobre el registro de consumos de agua del acueducto. De esta última, se obtuvo una línea de intervención de algunos de los aspectos aquí incluidos, donde surgió la necesidad de la estandarización de los procesos y se conoció de previo algunas situaciones que se presentan en el desarrollo del proceso.

Analógicamente a la lista de nacientes, en este caso, se levantó una lista de rutas correspondientes seguidas por los lectores para el registro de consumos, aunque no se intervino en su determinación; además, de igual forma, se realizó un levantamiento del personal junto a sus características de interés. Por tanto, también se debió hacer una investigación en los reglamentos internos y normativa nacional referentes a este proceso, que permitieron la identificación de alcances del personal u otros requerimientos relacionados al cobro por la prestación del servicio de suministro de agua.

Posteriormente, se realizó una primera observación de acompañamiento a inspecciones, con el mismo fin de mejorar la perspectiva de visualización del proceso y se identificaron aspectos a los que se prestó atención en las posteriores evaluaciones. Además, de igual forma que con el proceso anterior, se realizaron preguntas al personal como parte del acercamiento a las perspectivas de la supervisión y los colaboradores que desarrollan esta tarea, con el fin de mejorar el entendimiento de la situación actual en que se desarrollaba la misma.

Para este caso, en cuanto al equipo, se analizaron las características del actualmente utilizado, con el fin de identificar la falta de las requeridas en un equipo de reposición, según lo abordado con la comisión y que con el cambio se satisficieran las necesidades identificadas.

Posteriormente, se diseñó una hoja de observación a través de Excel, la cual se utilizó en las inspecciones realizadas para generar un panorama general de las situaciones que representan desperdicios o restricciones en el proceso. Para esto, se estimó una muestra que permitiera seleccionar aleatoriamente hidrómetros de diferentes rutas entre los diversos lectores.

De esta forma, por medio de toda la información recopilada y a través de las

observaciones del proceso, se generó el informe y graficaron las causas que afectan la productividad en un Diagrama de Ishikawa para mejor comprensión de la situación.

## **Diseño del Manual de procedimiento**

Propiamente, en la generación de los manuales, se incluyeron: un objetivo, un resumen sobre el proceso abordado, un apartado sobre el alcance de este y luego un apartado sobre las responsabilidades, donde se dejó a la supervisión del acueducto la implementación a totalidad de estos y su correcto seguimiento. Posteriormente, se incluyó un apartado que cita los documentos de referencia en los cuales se basó el diseño y otro con los conceptos hidráulicos de interés.

En seguida, se agregaron los aspectos establecidos con respecto al equipo, la anotación en formularios, la programación y preparación de la tarea, buscando eliminar o mitigar las causas de desperdicios que restringen la mejora de los procesos. Así, luego, se incluyeron los paso a paso de los procesos, con los cuales es posible regular el proceder de los colaboradores que ejecutan las tareas.

## **Aforos de fuentes**

Con respecto al grupo de fuentes a las que se les aplicó un método diferido, el Manual instructivo técnico finalizó con la sección cálculos, los cuales, en caso de ejecutarse, se deben resolver manualmente debido a la cantidad de variables que modificarían el algoritmo de resolución de estos. Sin embargo, en caso de los aforos volumétricos, se incluyó una explicación del funcionamiento de la Hoja de cálculo, debido a la identificación de desperdicios generados en el manejo de los datos en la oficina. Dicha hoja se diseñó en Microsoft Excel bajo el uso de funciones que permitieran la reducción de pasos y disminución de errores, por lo que se incluyó, además, un Poka Yoke. Con esta fue posible automatizar varios pasos como la identificación de datos desviados; ya que es algo que previamente se realizaba de forma manual, por lo que, al verse incrementada la cantidad de

mediciones, supondría un efecto contraproducente en el recurso humano del acueducto.

## **Registros de consumo**

En caso de este proceso, en la generación del manual se incluyeron las indicaciones del nuevo proceder con el nuevo equipo. En este caso, no se agregó un apartado de cálculos, ya que no existen, pero sí se incluyeron dos secciones con la estandarización de los procesos de registro de inventario de hidrómetros en funcionamiento y las indicaciones del proceso de salida de bodega de los nuevos hidrómetros que sean requeridos.

# Resultados

## Estado de proceso de aforo en nacientes

### Solicitaciones por parte de la Jefatura del acueducto

- Generar un cronograma de aforo de nacientes, que permita una recolección constante y periódica de datos, de la mano del mantenimiento propio de cada naciente, según una caracterización de estas, hacerlo semanalmente.
- Pensar en una posible sustitución, además de identificar aspectos de calibración en el método de aforo volumétrico.
- Por recomendación de experticia, en el aforo volumétrico se debe dejar correr el agua por un tiempo suficiente incluso de varios minutos para que se establezca el flujo.
- Proponer un manual para aforo del río Naranjo, Trapiche y La Minita por el método del molinete, ya que actualmente no existe ningún proceso establecido y antes, con asistencia de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Tecnológico de Costa Rica, se implementó el método del molinete con éxito, además de simplificar considerablemente la tarea al evitar aspectos de caracterización para la obtención de coeficientes por otros métodos.
- Sugerir una posible aplicación para el aforo en pozos.

Esto resulta de conversaciones iniciales con la jefatura, donde se obtiene una línea de acción para algunos de los aspectos.

## Levantamiento de lista de fuentes de agua

En cuanto al levantamiento de fuentes, la Municipalidad tiene registro de 35 de estas, de las cuales, para este proyecto se consideran por aparte las nacientes, las quebradas y los pozos de agua, ya que los métodos para la obtención de aforos difieren entre estos y en caso de los pozos utilizados por el acueducto, aún no le es posible obtener los aforos en los mismos, ya que no existen sistemas adecuados para ello. En un mediano plazo, está entre los objetivos de la municipalidad, que también sea posible generar un registro de caudales en estos.

Es así como, a partir del Plan Maestro de Mejora del Sistema del Acueducto Municipal de Paraíso, se accede a la información detallada de la municipalidad sobre las fuentes de agua disponibles correspondientes a nacientes, tanto las utilizadas actualmente, como para dotaciones futuras, así como los pozos concesionados; primeramente, enlistando las nacientes como se muestra en el cuadro 1.

Naciente	Fuentes de Agua	Plano Catastro
1	Loaiza	C-2134408-2019
2	Higuerones 1	C-2062952-2018
3	Higuerones 2	C-2062952-2018
4	Boquerón 1	C-517231-1983
5	Boquerón 2	C-517231-1983
6	Boquerón 3	C-517231-1983
7	Luis Guzmán	C-1972935-2017
8	Luis Guzmán 2	C-1972935-2017
9	La Capira	C-1640720-2013
10	Urasca 1	No se indica
11	Urasca 2	No se indica
12	Urasca 3	C-945297-2004
13	Volio 1	C-435223-1997
14	Volio 2	C-435223-1997
15	Volio 3	C-435223-1997
16	Chilamate 1	C-169835-1994
17	Chilamate 2	C-169835-1994
18	Nicanor	C-417598-1981
19	Jorge Obando	C-634895-1986
20	Guayabal	C-595169-1985
21	Parruaz	C-0000324-1995
22	Mero	No se indica
23	Bosque 1	No se indica
24	Bosque 2	No se indica
25	Bosque 3	No se indica
26	Mirasol 1	No se indica
27	Mirasol 2	C-0006294-1976
28	Las Huertas 1	C-517231-1983
29	Las Huertas 2	C-517231-1983
30	Helechos de Cuero 1	C-585190-1985
31	Helechos de Cuero 2	C-585190-1985
32	Trapiche	C-31608-1961
33	Trapiche 2	C-31608-1961
34	La Minita	No se indica
35	Río Naranjo	C-2049025-2018

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

En caso de los pozos, estos en el Plan Maestro de Mejora del Sistema del Acueducto Municipal de Paraíso se identifican según pozos concesionados por la municipalidad y los de uso privado, ya que se tiene una base de datos con información de la totalidad de estos. Sin embargo, por esta razón, se identifican únicamente los utilizados por el acueducto para la obtención del recurso hídrico, excluyendo Las Junglas que se deben sellar por recomendación del SENARA y el Departamento de Aguas; en su lugar se considera que hay dos pozos

programados para ser perforados en 2021, por lo que los pozos de interés corresponden a los mostrados en el cuadro 2.

Pozos	Fuentes de Agua	Plano Catastro
1	Los Helechos	C-969882-1991
2	MUCAP	C-158561-2012
3	La Laguna	-
4	El Liceo	-

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

## Levantamiento del personal

Para la realización de esta tarea, la municipalidad tiene designados a tres colaboradores del acueducto municipal, quienes corresponden a los mostrados en el cuadro 3. Estos pertenecen a la cuadrilla de mantenimiento de las nacientes, sin embargo, tienen asignadas las tareas de obtención de aforos en las mismas. A pesar de que el departamento cuenta con fontaneros, debe quedar claro que, en este caso, los colaboradores están contratados bajo figura administrativa de peones. Esto pues se debe tener claro que los mismos no cuentan con una preparación técnica requerida y puede que sus conocimientos teóricos respecto a los procesos sean limitados.

Nombre	Calificación	Experiencia
Gilberto Zuñiga Cordero	Peón de Acueducto	10 años
Fernando Torres Solano	Peón de Acueducto	17 años
Luis Fernando Coto Solano	Peón de Acueducto	1 año

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

## Visita a campo provisional

Naciente: Boquerón 1, Boquerón 2 y Boquerón 3, La Capira.

- Se dio un tiempo de traslado desde el plantel municipal de 30 minutos, para luego tardar 10 minutos en el recorrido caminando; se debe poner atención a los tiempos de traslado caminando, pues representan desperdicios por transporte.
- Se logra constatar que, a pesar de que las labores no se tienen asignadas por la

jefatura; en la práctica, los colaboradores a los que se les encarga esta tarea tienen repartido el trabajo, sin embargo, se detecta una importante posibilidad de mejora con respecto al recurso humano que se detallará posteriormente con el recorrido total.

- También se identifica que no hay tiempos establecidos de espera para permitir que el flujo se establezca previo a realizar el aforo, por lo cual se le prestará atención en el recorrido de campo.
- Se identifica que el equipo no es específico de esta tarea.
- No existió interrupción en el flujo de valor, se dio el traslado al sitio y al momento de

realizar el aforo, el mismo se realizó sin presentarse restricciones o tiempos de espera.

## Propuesta de cronograma de aforo de nacientes

A través de los aspectos que se detallan en el análisis, se plantea el siguiente cronograma de aforo de nacientes. El mismo se muestra en el cuadro 4

Cuadro 4. Propuesta de cronograma para el aforo de nacientes en la semana				
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Parruaz	Chilamate 1	Mero	Holgura para aforo de nacientes del sector sur u otras tareas requeridas	Holgura para aforo de nacientes del sector norte o centro u otras tareas requeridas
La Capira	Chilamate 2	Guayabal		
Boquerón 1	Loaiza	Bosque 1		
Boquerón 2	Volio 1	Bosque 2		
Boquerón 3	Volio 2	Bosque 3		
Las Huertas 1	Volio 3			
Las Huertas 2				
Almuerzo				
Mirasol 1	Nicanor	Helechos 1		
Mirasol 2	Jorge Obando	Helechos 2		
Higuerones 1	Urasca 1	Luis Guzmán 1		
Higuerones 2	Urasca 2	Luis Guzmán 2		
	Urasca 3			

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

## Recorrido de inspección en nacientes

Los días 25, 26 y 27 de noviembre se realiza un recorrido por la totalidad de las fuentes, según la ruta propuesta del cronograma para verificar que la propuesta sea funcional. Para esto se realiza un acompañamiento a campo donde se determina si fue posible la visita de todas las fuentes programadas y se identificaron las situaciones que suelen interrumpir el flujo de valor en el proceso; así como se realizaron observaciones sobre desperdicios, para que la información sea contemplada en la definición del

proceso y la ruta de recolección de datos deseada.

## Procesos inadecuados debido a la falta de sistemas de aforo

Para que sea posible la implementación de los aforos por método volumétrico en nacientes, debe existir un sistema apto que permita la aplicación del método. El mismo es sencillo y económico de instalar, sin embargo, es faltante en 17 sistemas de captación; lo que significa un total de 55% de las nacientes sin un sistema idóneo para su aforo, afectando la calidad de los datos al hacerlos menos exactos por cómo se efectúan en su lugar los procesos o la presencia

de malas prácticas para la ejecución de este. La lista es mostrada en el cuadro 5

Naciente	Nombre
1	Higuerones 1
2	Boquerón 1
3	Boquerón 2
4	Boquerón 3
5	Luis Guzmán
6	Luis Guzmán 2
7	La Capira
8	Urasca 1
9	Volio 3
10	Chilamate 1
11	Chilamate 2
12	Nicanor
13	Jorge Obando
14	Bosque 2
15	Bosque 3
16	Mirasol 2
17	Las Huertas 2

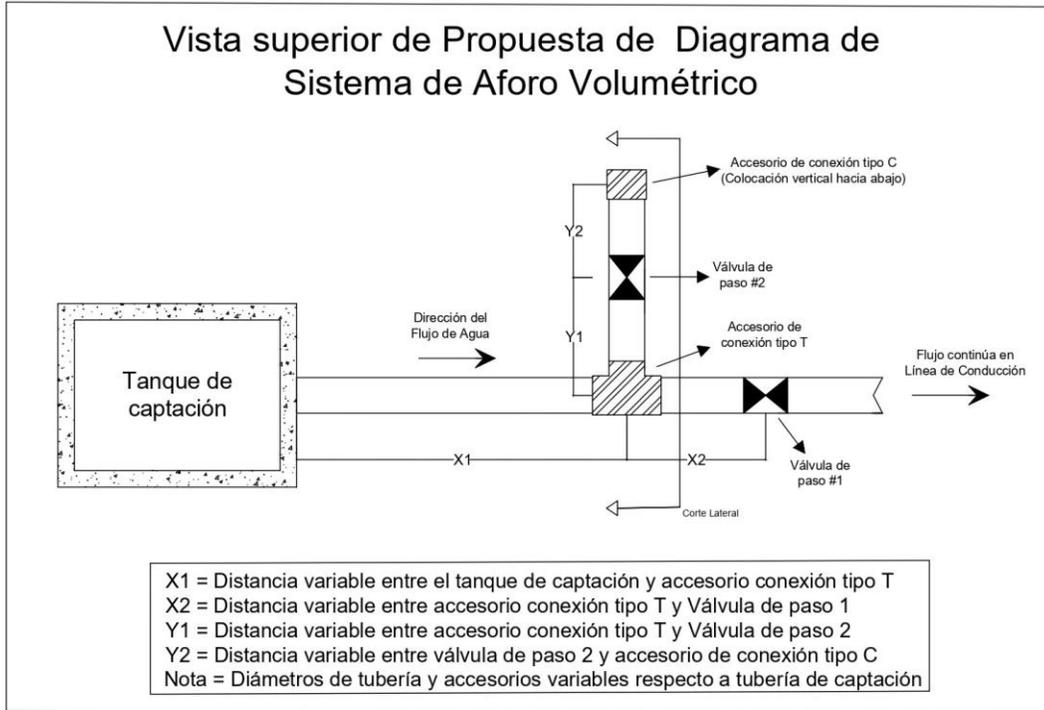
Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

Dicho sistema consta de una adaptación a la tubería principal posterior a su tanque de captación, donde se instala una llave de paso y una conexión T, que permite desviar el flujo en una dirección diferente, preferiblemente

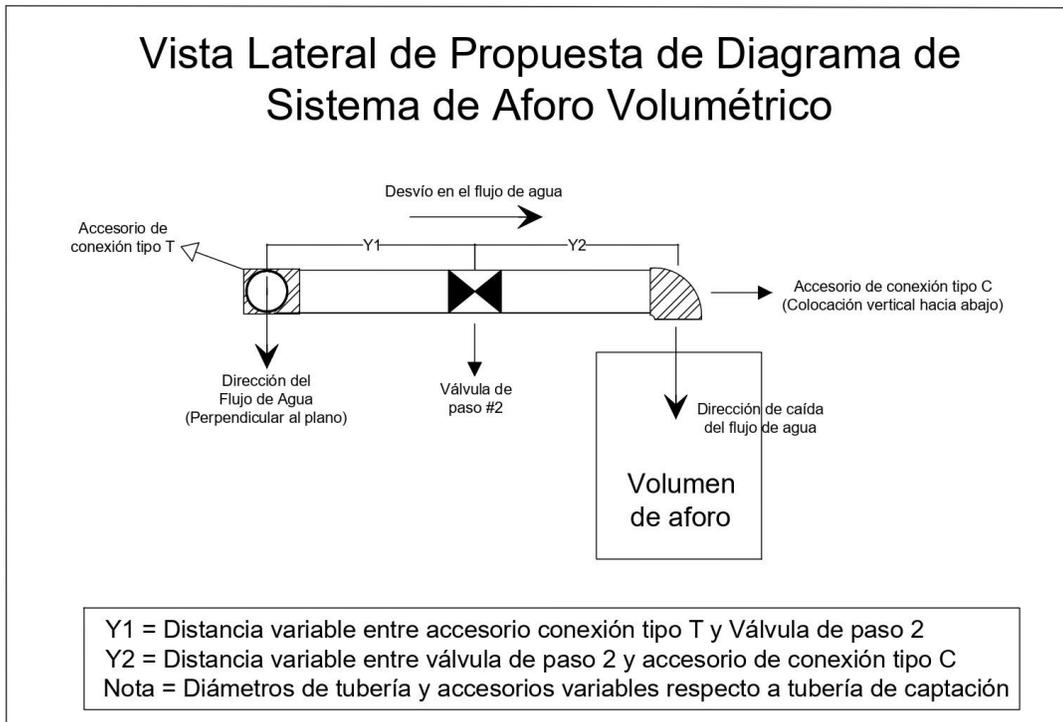
perpendicular a la tubería principal. A esta se debe agregar una tubería lo suficientemente larga, que permita un espacio por debajo de la misma para colocar el volumen de control; a la cual también se le debe colocar una llave de paso y una conexión tipo codo que permita dirigir el flujo en sentido de la gravedad. Cuyos elementos se enlistan en el cuadro 6.

Cantidad	Descripción
2	Válvulas de paso (Diámetro variable)
1	Tubería PVC (Longitud = variable)
1	Accesorio conexión tipo T
1	Accesorio conexión tipo C

Este sistema se representa gráficamente por medio de la figura 4 y 5. Cabe resaltar que, en las nacientes donde el sistema de aforo es el deseable, el mismo se realiza en ciclos mucho más cortos y con mayor seguridad por parte de los colaboradores, por lo que indudablemente el proceso se vuelve más eficiente y sus datos más confiables.



**Figura 4.** Vista en planta de Diagrama de Sistema de Aforo Volumétrico. Fuente: elaboración propia a través de AutoCAD.



**Figura 5.** Vista en lateral de Diagrama de Sistema de Aforo Volumétrico. Fuente: elaboración propia a través de AutoCAD.

Entre la totalidad de las nacientes, hay tres en las que del todo no es posible realizar ningún tipo de aforo, correspondientes a Jorge Obando, Volio #3 e Higuerones #2, mientras que hay otras en las que el mismo se realiza, pero bajo prácticas nada recomendables, lo que provoca que los resultados sean bastante desviados. De este último grupo, resaltan los casos de La Capira, Chilamate #2, Higuerones #2 y El Bosque #3, como se muestra en la figura 6, donde los colaboradores deben ingresar con su cuerpo entero dentro de los tanques de captación, lo cual no es seguro, es antihigiénico porque los mismos vienen de caminar por campos de uso ganadero o agrícola y genera dificultades que no permiten que el aforo se dé de una forma que se pueda considerar válida. Mientras que, por otro lado, hay casos como en Chilamate #1 donde se debe improvisar un sistema de aforo a partir de la redirección del flujo por medio del paleo del terreno, rocas y la colocación de una tubería con la que cargan al sitio, como se muestra en la figura 7. Esto se debe realizar cada vez que se desea aforar, con un consumo de hasta 20 minutos o más de tiempo; hace que el aforo no se pueda considerar válido debido a claras pérdidas.

Lo mismo se repite para el aforo de Luis Guzmán #2, mientras que, en caso de Luis Guzmán #1, se utiliza otro método improvisado por medio de la graduación de regla de madera por el mismo personal y una estimación de su caudal a partir del llenado del tanque, conociendo las dimensiones de este para estimar un volumen evidenciado en la figura 8.



**Figura 6.** Evidencia de situación de aforo en Higuerones #2. Fuente: fotografía propia.



**Figura 7.** Evidencia de aforo en Chilamate #1. Fuente: fotografía propia.



**Figura 8.** Evidencia de aforo en Jorge Guzmán #1. Fuente: fotografía propia.

## Talento de recurso humano

Uno de los principales desperdicios identificados se relaciona con el recurso humano, pues hay un colaborador cuya función recae únicamente en el manejo del vehículo, debido a una situación administrativa de la Municipalidad, ya que los aforadores no pueden manejar el vehículo. La recomendación es realizar una reestructuración en la cuadrilla, como se describe en la propuesta de cronograma de aforo, ya que existe un desperdicio de talento humano que se debe buscar eliminar, evidenciado en la totalidad de las fuentes, contributivo al flujo de valor, pero en este caso no aprovechable de forma adecuada, pues los tiempos de realización de los aforos se convierten en tiempos de espera de dicho colaborador. Por otro lado, los dos colaboradores encargados de realizar los aforos se notan bastante coordinados en sus labores, con sus tareas ya distribuidas y con vasta experiencia en la realización del proceso.

## Tiempos de espera y transporte debido a accesos no legalizados

Es esencial para la Municipalidad de Paraíso, la legalización de los accesos a las nacientes, ya que se identifica como uno de los mayores desperdicios e interrupciones al flujo de valor. Esto tanto a través de lo manifestado por los colaboradores y de la supervisión del acueducto, así como mediante las observaciones de acompañamiento a campo. De otra forma, la implementación de un cronograma que permita la obtención de aforos de manera fluida se verá constantemente interrumpida. Estos casos se presentan en 17 de la totalidad de las fuentes, es decir, en un 46%, correspondientes a Boquerón 1, 2 y 3, Las Huertas 1 y 2, Higuerones 1 y 2, Chilamate 1 y 2, Helechos de Cuero 1 y 2 y Nicanor; además de las nacientes aún no concesionadas Trapiche 1 y 2, La Minita y Río Naranjo, junto al Pozo MUCAP. Esto provocó tiempos de espera de hasta 15 minutos, como en el caso de Nicanor, mostrado en la figura 9, ya que se debe esperar que los dueños abran el portón o, en casos como Higuerones 1 y 2 o Chilamate 1 y 2, provoca que el vehículo se deba dejar a mayor distancia del punto de aforo, lo que se traduce en un mayor recorrido caminando que incrementa considerablemente los tiempos de traslado.



**Figura 9.** Imposibilidad de acceso a Nicanor hasta la llegada del dueño. Fuente: fotografía propia.

**Procesos inadecuados, sobreproducción y defectos debido al equipo**

El equipo actualmente utilizado es improvisado, ya que las cubetas no son aptas para el proceso, se evidencia que se trata de cubetas que tuvieron otro uso, y se desconoce cómo se identificó su volumen; en algunas incluso se encontraron adheridos restos de concreto endurecido, como se muestra en la figura 10. Por otro lado, el cronómetro utilizado genera procesos erróneos, ya que cuenta con 3 decimales de resolución, lo cual se considera un desperdicio por sobreproducción, ya que, para efecto de la municipalidad, no es necesaria tanta exactitud y provocó confusiones, generando equivocaciones en la digitalización de los datos. Por tanto, bajo el principio de simplificar el proceso, se propone la adquisición de un cronómetro con una menor resolución, para minimizar los errores dados por esta causa.



**Figura 10.** Evidencia de cubeta con restos de concreto endurecido. Fuente: fotografía propia.

## Esperas y defectos por no uso de formulario técnico

De forma general para todas las nacientes, se logra identificar un aspecto que interrumpe el flujo de valor constantemente como es el caso de la preparación del borrador de anotación, mostrado en la figura 11. A pesar de suministrarse un formulario técnico respectivo, los colaboradores no lo utilizan, debido a que manifiestan usualmente que el mismo se ve arruinado debido al ambiente de humedad, por lo que el colaborador encargado de las anotaciones frecuentemente requiere de tiempo para transcribir las lecturas. Esto, además de consumir

tiempos innecesarios, genera mayores posibilidades de equivocación. Así mismo, al momento de entregarse los resultados a la supervisión, se generan desperdicios por defectos debido a transcripciones erróneas por anotaciones que fueron confundidas. Debido a esto, a pesar de que en un inicio dentro de la propuesta se regeneran los formularios técnicos, se hace la recomendación a la municipalidad de la valoración de adquirir un recolector de datos para esta tarea, lo cual, además de solucionar dicha observación, aporta considerablemente a una reducción en el tiempo necesario para el manejo posterior de los datos en la oficina.

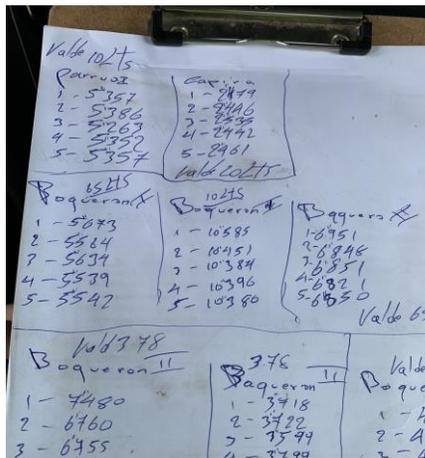


Figura 11. Evidencia de borrador de anotación utilizado. Fuente: fotografía propia.

## Procesos inadecuados por falta de paso de estabilización del flujo

La determinación de este se da de una forma empírica y debe seguirse realizando de esta manera, ya que, a pesar de depender principalmente del caudal, hay diversas variables que influyen para poder afirmar que se está presentando esta condición, aspectos diferentes propios de cada sistema. Por tanto, la identificación se debe hacer de forma visual, sin embargo, esto se incluirá como requisito a verificar en el nuevo Formulario técnico de aforo volumétrico, para evitar que sea omitido y se le dará un tiempo mínimo de un minuto por recomendación a juicio experto de la jefatura, para mitigar la variación entre los datos.

## Procesos inadecuados en selección de equipo

Se identifican de áreas de mejora propiamente en el proceso de aforo, ya que se está cometiendo un error que genera inexactitud en los datos, en caso de la selección del volumen de control. Esto porque se identificó que el criterio es erróneo y los tiempos de llenado son realmente bajos, lo cual genera que los datos recogidos tengan hasta el doble de error como se analizará más adelante. Este aspecto se encuentra como el más importante por corregir, previo al seguimiento del cronograma, ya que poco aporta mejorar los tiempos de ciclo del proceso si el mismo se realiza de forma errónea y se recopilan datos poco exactos. La mejora de este va ligada directamente a la generación del manual respectivo y su implementación entre los colaboradores.

## Esperas por falta de programación

Se identificaron varios desperdicios generados por tiempos de espera debido a esta causa, ya que se generaron atrasos hasta por 45 minutos previo a salir del plantel debido a la falta de conocimiento de programación de esta tarea. La preparación del equipo y de la documentación necesaria fueron dos situaciones independientes identificadas, esto incluso generó discusión entre los colaboradores y la supervisión.

## Otros hallazgos del recorrido

Además, se identificaron como conclusiones de importancia por considerar para el diseño del procedimiento las siguientes:

**Cronograma viable.** Es posible el seguimiento del cronograma propuesto, ya que fue posible constatar que el recorrido se puede efectuar en las tres diversas rutas, con la asistencia a la totalidad de las nacientes y existe el tiempo suficiente para la realización de las tareas. Cabe resaltar que, en caso de las nacientes correspondientes al Sector Sur, la ruta se realizó de forma diferenciada, debido a la situación específica del cierre del puente de la Represa de Cachí, generando tiempos de traslado mayores;

por lo que, para el momento en que el paso a través de este sea reabierto, la ruta propuesta se puede realizar con éxito.

**Mantenimiento.** Se identifica que es posible que los encargados de las tareas de aforo puedan realizar labores sencillas de mantenimiento como las chapias de conducción, limpieza exterior de tanques de captación, verificar seguridad de tapas, entre otras; sin embargo, de igual forma, se identificaron algunas tareas por las que se solicitaría una requisición diferenciada de mantenimiento, como algunos árboles caídos, incluso sobre tanques de captación, como sucede en Helechos de Cuero #1 que se muestra en la figura 12, o tuberías obstruidas como Higueros #1, incluso grietas considerables como en caso de Nicanor, lo cual se muestra en la figura 13. Mientras que en Higueros 2, se evidencia un riesgoso desprendimiento de rocas sobre la naciente, representado en la figura 14.



**Figura 12.** Evidencia de árbol caído sobre tanque de captación en Helechos de Cuero #1. Fuente: fotografía propia.



**Figura 13.** Evidencia falla estructural en cimientos del tanque de captación de Nicanor. Fuente: fotografía propia.



**Figura 14.** Desprendimiento de rocas sobre el tanque de captación de Higueros #2. Fuente: fotografía propia.

**Seguridad.** A pesar de encontrarse por fuera del alcance del proyecto, se lograron identificar importantes problemas en cuanto a la seguridad de los tanques de captación y líneas de conducción. Hay varias nacientes en las que se identifican accesos de particulares o facilidad de entrada, como el caso de La Capira, Parruaz, Las Huertas, Chilamate, Guayabal, El Bosque, Mero y Jorge Obando, donde esta última ni siquiera cuenta con cerramiento perimetral con alambre; mientras que, en la mayoría de ellas, preocupantemente se encuentran gran cantidad de tapas en los tanques de captación sin candados e incluso se encontró una abierta en Loiza, evidenciado en la figura 15.

Caso contrario se presenta en Boquerón, mostrado en la figura 16, donde los tres afloramientos cuentan con un correcto cerramiento perimetral con malla, al igual que el portón de acceso a las mismas, lo que la convierte en una situación modelo, única y replicable en otras nacientes; sin embargo, a un mediano plazo requiere de una considerable inversión. Por lo que lo recomendable de inmediato es interceder en las tapas sin candados de las nacientes localizadas principalmente en el centro de Paraíso, pues añadido a esto, durante el proyecto, se dieron dos actos de vandalismo en las fuentes.



**Figura 15.** Evidencia de tapa que se encontraba abierta en Loaiza. Fuente: fotografía propia.



**Figura 16.** Cerramiento perimetral deseable en Boquerón. Fuente: fotografía propia.

**Seguridad del personal.** Se identificaron recorridos riesgosos para llegar al sitio de aforo en Higuerones y Loaiza, ya que los senderos de conducción, a pesar de realizarse con clima soleado, suelen estar llenos de mucho barro y hay que pasar por espacios reducidos junto a barrancos. Además, se dio una interrupción importante al flujo de valor, ya que en Higuerones uno de los colaboradores se vio atacado por avispas (mostrado en la figura 17), lo cual generó una fuerte inflamación en una de sus manos, y los colaboradores no cuentan con botiquín preventivo. Esto último debe ser de atención, pues, a pesar de no haberse producido accidentes considerables, se da constantemente que tienen encuentros con serpientes venenosas.



**Figura 17.** Evidencia de picadura de avispa en Higuerones. Fuente: fotografía propia.

## Levantamiento de situación en Luis Guzmán

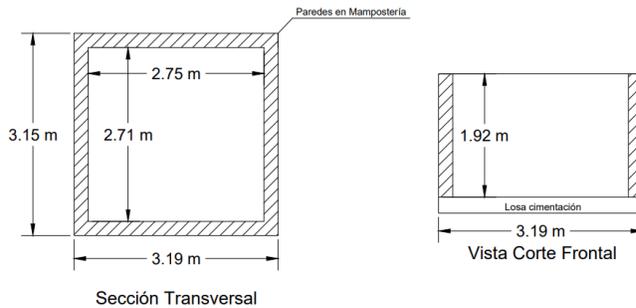
A solicitud del Acueducto, ya que esta naciente trata de una de las principales fuentes de suministro al distrito de Paraíso y que la instalación de sistemas aptos para el aforo en nacientes de agua es una tarea no inmediata; se solicita profundizar la situación sobre la forma en que se está realizando el aforo específicamente en Luis Guzmán #1 (Figura 18). Para ello, se asiste al sitio el 18 de diciembre de 2020, día en que se vuelve a realizar el aforo y se procede a efectuar las mediciones de las dimensiones del tanque, esto para verificar el tamaño de este y que sea posible precisar los resultados obtenidos.



**Figura 18.** Evidencia de proceso en naciente Luis Guzmán #1. Fuente: fotografía propia.

El método seguido en este caso consiste en cuantificar el tiempo que tarda el llenado del tanque, mediante la graduación de una regla de madera, que permite estimar un volumen que se divide entre dicho tiempo. Así, se obtiene el

siguiente diagrama mostrado en la figura 19, en el cual se incluyen las nuevas dimensiones propuestas a utilizar por el acueducto para la estimación de un caudal, mientras sea posible la instalación del sistema apropiado.



**Figura 19.** Dimensiones rectificadas del tanque. Fuente: fotografía propia.

Además, se realiza la verificación de la graduación de la regla utilizada, ya que la misma fue fabricada anteriormente por los trabajadores, graduada cada 10 cm. La misma tiene una dimensión de 2,64 m de longitud con una sección de 7 cm de largo y 2 cm de ancho, en la cual, se identifica un cierto desfase, evidenciado en la figura 20, por lo que la recomendación inmediata es su sustitución, idealmente por una estadia.



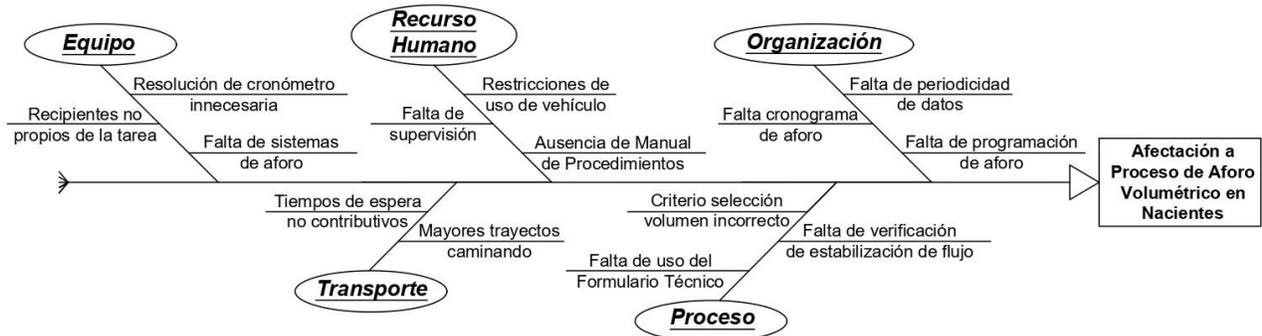
**Figura 20.** Evidencia de regla utilizada en método empleado en Luis Guzmán #1. Fuente: fotografía propia.

Estas acciones distan de lo indicado por las guías internacionales, sin embargo, debido a la importancia de la fuente, se aprueba por la supervisión del acueducto momentáneamente. Por lo que ahora se utilizan dichas dimensiones rectificadas para la estimación de un volumen que permita llevar a cabo el proceso de esta manera. Sin embargo, debe tener su pronta intervención, debido a que, para poder realizarlo, se tiene la desventaja de que se debe cerrar el suministro de agua al sector que esta fuente abastece, por lo que se afecta a la población y genera aire en la tubería, lo cual es contraproducente para el sistema de abastecimiento.

## Diagrama de Ishikawa de proceso de aforo en nacientes

El siguiente Diagrama de Ishikawa, mostrado en la figura 21, consiste en una representación gráfica de las restricciones y desperdicios anteriormente abordados. Los mismos para este proceso se clasifican a conveniencia en: equipo, recurso humano, proceso, transporte y organización; de forma que puedan observarse de una forma más sencilla y sea posible analizar qué acciones se pueden tomar para levantar las causas que no permiten la ejecución de un proceso adecuado.

## Diagrama de Ishikawa Desperdicios y Restricciones al Proceso de Aforo de Nacientes



**Figura 21.** Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto) generado a partir de los desperdicios y restricciones identificados en el proceso de aforo de nacientes. Fuente: elaboración propia a través de AutoCAD.

## Formularios técnicos

De una forma simple, pero funcional para su objetivo, se propone el Formulario Técnico para Aforo por Método Volumétrico del apéndice 2.1, ya que se simplifica la recolección de los datos de interés y es explícita la información requerida a completar, así como el número de repeticiones necesarias. Dicha información se traslada a la Hoja de cálculo mostrada en el apéndice 3.

Además, se debe hacer parte el Formulario Técnico para Requisición de Mantenimiento como parte de la propuesta de modificación al proceso, para abordar la recolección más periódica de datos. Para el caso de los pozos, si se efectúa el método volumétrico, es aplicable el mismo Formulario Técnico y la Hoja de cálculo, bajo los mismos fundamentos descritos en dichas secciones.

Por otro lado, se propone el Formulario Técnico para Aforo por el Método de Molinete, adjuntado en el Anexo X, de igual forma, buscando simplificar la recolección de los datos de interés y a partir de dicha información obtener la estimación del caudal con la ejecución de los cálculos posteriormente.

## Manual de aforo volumétrico

El Manual resultante generado para establecer el proceder para la aplicación de este método se muestra en el apéndice 1.1. El mismo se compone de un objetivo, resumen, alcance, responsabilidades, documentación de referencia, definiciones, equipo, programación y preparación de la tarea, procedimiento, cálculos, hoja de cálculo y los ejemplos de sus respectivos formularios técnicos asociados, entre otros anexos.

## Manual de aforo con molinete

El Manual resultante generado para establecer el proceder para la aplicación de este método se muestra en el apéndice 1.2. El mismo se compone de un objetivo, resumen, alcance, responsabilidades, documentación de referencia, definiciones, equipo, procedimiento y los ejemplos de sus respectivos formularios técnicos asociados, entre otros anexos.

# Estado de proceso de lectura de hidrómetros

## Reuniones de Comisión de Mejora del Acueducto

Los puntos desarrollados señalados por medio de una auditoría interna, así como su análisis se muestran en el Apéndice 5.1. A través de estos se establece una línea de solución de algunos de los aspectos tratados y propuestos durante las reuniones. Además, es inicio de la comprensión del estado en que se ejecuta el proceso, así como se conocen de previo posibles áreas de mejora.

## Levantamiento del personal

Para la realización de esta tarea, la Municipalidad tiene designados a cinco colaboradores que se encargan específicamente de esta tarea, los mismos se muestran en el cuadro 7.

Nombre	Calificación	Experiencia	Cantidad Rutas
Carlos Garita Lopez	Lector de Hidrómetros	39 años	17 rutas
Cesar Chavez Brenes	Lector de Hidrómetros	16 años	13 rutas
Carlos Torres Barahona	Lector de Hidrómetros	14 años	13 rutas
Oliman Leandro Fonseca	Lector de Hidrómetros	9 años	12 rutas
Deiver Madriz Brenes	Fontanero	1 año	12 rutas

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

## Rutas de lectura de hidrómetros

Según el Plan Maestro de Mejora, Municipalidad de Paraíso (2020): “En la totalidad del servicio del cantón se cuenta con 13198 usuarios, con una recaudación alrededor de ₡102 millones anuales, de los cuales corresponden a 10668 abonados con servicio medido con una recaudación aproximada de ₡85 millones del total”; es decir, aproximadamente un 84% de la recaudación es generada a través del cobro de tarifa medida ya sea domiciliaria, ordinaria, reproductiva, preferencial o de gobierno.

Según la Municipalidad de Paraíso (2020), la tarifa domiciliar representa casi la totalidad de los usuarios y especifica que se autorizará solo un servicio por unidad habitacional o comercial, lo cual es de importancia para el proceso, pues trata de una anomalía que podría ser identificada por el lector. Sin embargo, el tipo de tarifa bajo el cual se encuentra el abonado no influye en el proceso de registro de lectura, por lo que se mencionan, pero no son descritos.

A través de la información disponible con respecto a las rutas, se recopila la información del cómo se encuentran asignadas las rutas por lector y se muestra en los cuadros 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

Ruta	Cantidad de Hidrómetros	Lector Asignado
1	171	Cesar Chaves
4	174	
12	166	
17	203	
24	147	
28	194	
36	160	
38	222	
45	189	
47	112	
52	175	
54	128	
64	90	
Total		

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

<b>Cuadro 10. Grupo de rutas asignadas para el lector #3</b>		
Ruta	Cantidad de Hidrómetros	Lector Asignado
2	178	Carlos Torres
5	180	
9	175	
16	120	
19	198	
23	159	
25	168	
26	168	
29	161	
35	147	
39	146	
48	119	
55	98	
67	81	
Total		

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

<b>Cuadro 11. Grupo de rutas asignadas para el lector #4</b>			
Ruta	Cantidad de Hidrómetros	Lector Asignado	
3	119	Olman Leandro	
6	171		
11	168		
14	185		
18	145		
20	248		
27	164		
30	168		
40	164		
49	144		
53	171		
56	107		
62	152		
Total			2106

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

<b>Cuadro 12. Grupo de rutas asignadas para el lector #5</b>		
Ruta	Cantidad de Hidrómetros	Lector Asignado
7	176	Deiber Brenes
8	185	
10	195	
13	165	
15	201	
21	177	
22	152	
31	160	
32	175	
34	162	
37	171	
57	120	
Total		2039

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

<b>Cuadro 13. Grupo de rutas sin lector asignado</b>		
Ruta	Cantidad de Hidrómetros	Lector Asignado
68	65	Cualquiera
69	11	
Total		1016

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

Acercándose a la finalización del desarrollo de este proyecto, se dio un cambio por parte de la jefatura, donde sí se da una reasignación de las rutas correspondientes del lector que está contratado como fontanero, por dicha situación administrativa. Por tanto, a partir de febrero de 2021, se disminuye la cantidad de lectores a cuatro y se asignan dichas rutas de la siguiente forma como se presenta el cuadro 14.

<b>Cuadro 14. Grupo de rutas sin lector asignado</b>		
Ruta	Cantidad de Hidrómetros	Lector Asignado
10	195	Carlos Garita
21	177	
34	162	
8	185	Cesar Chaves
13	165	
22	152	
7	176	Carlos Torres
32	175	
37	171	
15	201	Olman Leandro
31	160	
57	120	

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

Así, es posible estimar una cantidad total de hidrómetros por lector mostrada en el cuadro 15, donde se puede identificar que el lector que más hidrómetros tiene es el que realiza los lugares descritos con características de trayectos más largos, lo cual es contrario al razonamiento indicado. Por tanto, a pesar de no interceder en esto con el desarrollo del proyecto, sí se recomienda prestar atención a ello, pues podría ser un indicador de que las rutas o su asignación no están equitativamente asignadas.

<b>Cuadro 15. Cantidad de hidrómetros por lector con nueva designación</b>	
Cantidad de Hidrómetros	Lector Asignado
2909	Carlos Garita
2633	Cesar Chaves
2442	Carlos Torres
2587	Olman Leandro

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

## Observación preliminar en lecturas de hidrómetros

Motivo: Inspección hidrómetros por reportes de altos consumos

Fecha: 19 de octubre de 2020

Lectores: Carlos Torres Barahona y Deiver Madriz Brenes

- Se identifica que, para realizar una inspección de altos consumos, el contribuyente la solicita ya sea a Plataforma de Cobros o al Departamento de Acueducto.
- A los lectores se les entrega una boleta de fontanería, donde se indica la solicitud de inspección y el motivo, esta se muestra en el Anexo 1.
- Dichas solicitudes se realizan día a día, por lo que su resolución suele ser en el día posterior a su presentación.
- Los lectores coordinan entre ellos para utilizar un solo vehículo según la localización de la inspección y acuden al sitio indicado.
- Se identifican dos actividades que generan desperdicios considerables:

**Movimientos innecesarios:** debido a que para acudir al sitio se debe hacer una “prueba rápida” para localizar el medidor, ya que los lectores conocen su ubicación aproximada, pero en todos los casos debieron bajarse del vehículo para acceder a un hidrómetro al azar, limpiarlo y verificar su consumo para localizar el medidor solicitado a inspeccionar. Esto representa una oportunidad de mejora, ya que, por medio de una actualización del *software*, tiene que hacerse posible su ubicación exacta.

**Tiempos de espera:** existen gran cantidad de tiempos de espera, generados al localizar el hidrómetro, ya que se generan desperdicios al dar tiempo para que el contribuyente salga o mientras se determina que no se encuentra nadie en el lugar, para esto se plantea que una posible solución es estandarizar la hora de ejecución de dichas inspecciones y comunicar de previo 24 horas antes al consumidor, ya que, aunque no asegura que en todos los casos el contribuyente

se encuentre en la propiedad, aumenta la posibilidad de que esto ocurra.

Si el contribuyente no se encuentra en su propiedad y se logra constatar que el hidrómetro sigue mostrando un consumo, a pesar de poder determinarse posibilidad de fuga, se deja la posibilidad de llamar y volver a acudir al lugar al día siguiente, lo cual es un desperdicio por defecto, ya que consume recursos, pero no genera valor.

Al concluir las cinco inspecciones, se identifica un aspecto de muchísima relevancia para el proyecto, ya que fue posible determinar que, de la totalidad de las cinco realizadas, tres de ellas eran innecesarias, donde la resolución fue la siguiente:

1. Corresponde a un caso donde el cobro se está realizando sobre otros impuestos pendientes como el caso de bienes inmuebles, se constata el funcionamiento del hidrómetro y se recomienda al consumidor solicitar un desglose de pago, pues en primera instancia parece ser la situación, ya que sucede con reincidencia.
2. El contribuyente no se encuentra en el hogar, sin embargo, se observa una instalación de un apartamento, en la parte posterior, sobre el cual su inquilino confirma paga alquiler al contribuyente registrado. Entonces, se debe notificar según el artículo 9 del Reglamento para la Operación y Administración del Acueducto, ya que solo se permite una unidad habitacional por medidor. El día posterior, se indica que fue atendido nuevamente el reclamo, donde se logró demostrar al contribuyente la existencia de una fuga interna.
3. Contrario a tratarse de un alto consumo, se logró determinar que más bien se trataba de un bajo consumo, por lo cual el cobro se había efectuado por tarifa mínima y era correcto, sin embargo, se presentó el reclamo, pues el abonado afirmaba no haber consumido agua, por lo que se procedió erróneamente en la solicitud de inspección.
4. El contribuyente solicitó inspección al ver su cobro por consumo incrementado, pero luego de constatar el funcionamiento del hidrómetro, se

determina que trata del incremento por el cobro del impuesto por valor agregado (IVA), ya que al superar un consumo de 31 m3, se deja de exonerar dicho rubro.

5. El contribuyente había solicitado una instalación de medidor para migrar de servicio fijo a servicio medido, por lo que se verificó su puesta en funcionamiento.

## Recorrido de inspección en lectura de hidrómetros

Mediante una serie de acompañamientos a los lectores en sus habituales rutas, se hace un muestreo en parte de estas, para la realización de observaciones en el sitio de trabajo. Acá se cuantifica, aunque de una forma generalizada, las interrupciones comunes en el flujo de valor del proceso. Para esto se utiliza la hoja de observación mostrada en el apéndice 4.2 y se obtienen datos para generar una visualización del proceso a través de un Gemba Walk, también observando el desarrollo del personal, debido a ser un punto solicitado de atención.

El tamaño de la muestra está determinado para generar resultados con un porcentaje de 95% de confianza y 6,5% de error, además de una igual probabilidad de ocurrencia para ambas posibilidades. Esto es suficiente para fines del proyecto, ya que, si bien es importante tener los datos precisos sobre el estado de los hidrómetros, para el proyecto lo que se pretende es detectar posibles restricciones. Además de que ya se tienen datos dados por la auditoría, sobre la totalidad de hidrómetros según las bases de datos, aunque debido a falta de un catastro completo y actualizado de hidrómetros, se cree por parte de la supervisión que estos datos varían con la realidad en campo. Posteriormente, con la inclusión del nuevo equipo se deberá hacer el levantamiento de la totalidad de los hidrómetros, por lo que se tendrán los valores reales del diagnóstico de estado de estos. Es así como de una población finita redondeada a 10800 abonados con servicio medido, se estima una muestra a partir de la fórmula mostrada en la figura 22.

presentando problemas para el registro de lecturas. Una cantidad nada despreciable, ya que

$$n = \frac{Nz^2 \sigma^2}{d^2 (N-1) + z^2 \sigma^2}$$

**Figura 22.** Fórmula utilizada en el cálculo de la muestra con población finita. Fuente: Badii, M. et al (Internet).

Donde Z tiene un valor constante de 1,96 asignado para un 95% de confianza, el valor de d corresponde al porcentaje de error proyectado de 6,5%,  $\sigma = 0,5$  refiriéndose a la probabilidad de que cada evento 1 suceda (Al desconocerse se asume un 50%) y N la población de 10800, para obtener un resultado de 223 hidrómetros.

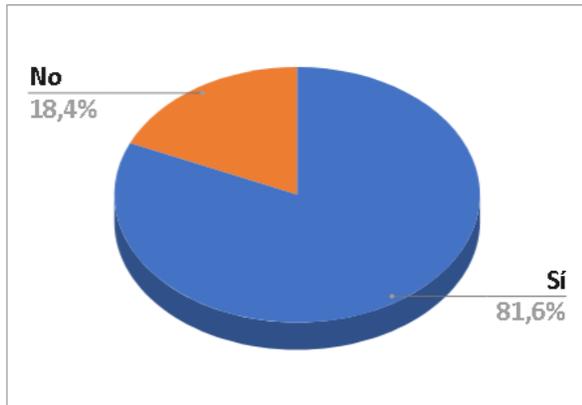
Al seleccionar aleatoriamente los mismos, los resultados de la cantidad de hidrómetros en los que se interrumpe el flujo de valor, se muestran por ruta en el cuadro 16 a continuación:

Cuadro 16. Resultados de cantidades de hidrómetros en los que se efectuó o no la lectura		
Ruta	Lectura con éxito	Restricción de Lectura
55	17	3
34	17	3
28	11	9
36	16	4
63	15	5
48	18	2
30	13	7
27	13	7
22	19	1
66	23	0
38	20	0
Total	182	41

Fuente: Elaboración propia a través de Microsoft Excel

Es decir, que fue en un 18,4% de las lecturas, donde se interrumpió el flujo de valor, ya que, a pesar de que se realice todo el procedimiento, no se consigue el objetivo que permite el cobro correcto. Esto representa una parte importante de los hidrómetros como se muestra en el gráfico 1, y aplicando este porcentaje a la totalidad de estos, se proyecta a 1987 la cantidad en la red total que podrían estar gran parte significa un sinnúmero de facturaciones no realizadas, que se van

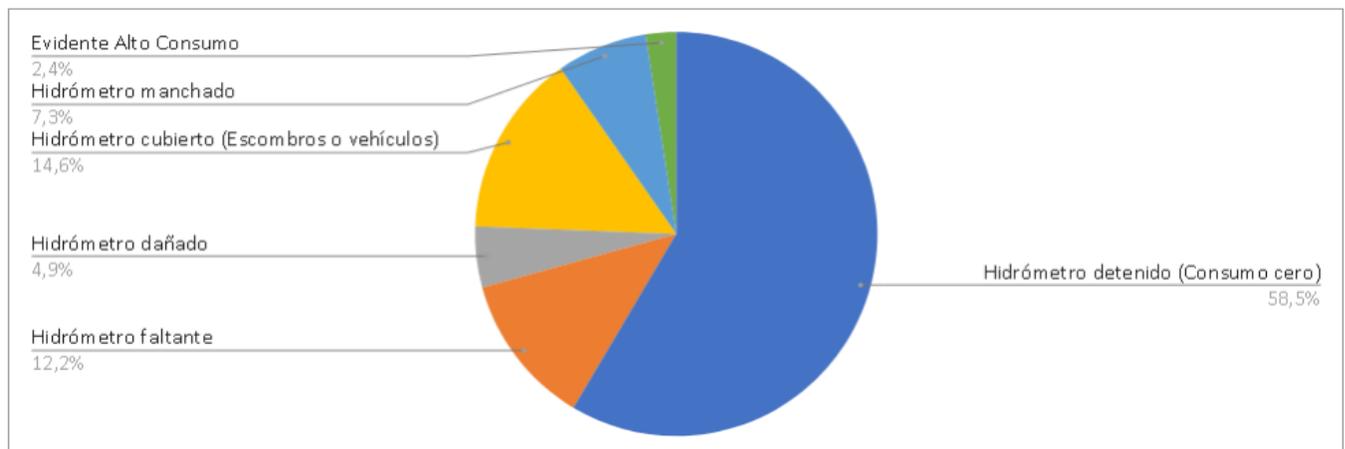
acumulando en el tiempo disminuyendo considerablemente los ingresos del acueducto.



**Gráfico 1.** Gráfico circular de resultados de cantidades de hidrómetros con lectura exitosa. Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

puede observar cómo la mayor parte, correspondiente a un 58,5% de los detenimientos en el recorrido de valor en la lectura de hidrómetros, corresponde a hidrómetros detenidos con registro de consumo cero, lo que proyecta alrededor de unos 1160 de la red total. Este dato se compara con la información disponible de la municipalidad en el análisis.

Posteriormente, por medio de las razones descritas en la hoja de observación, es posible mostrar los resultados del gráfico 2. En este se



**Gráfico 2:** Gráfico circular de causas asociadas de los detenimientos del flujo de valor. Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

Con mucha importancia, en segundo lugar, se encuentran las situaciones donde los hidrómetros se encontraban cubiertos de concreto endurecido, escombros, tablas, basura, entre otros; evidenciado en las figuras 23, 24 y 25; correspondientes al 14,6% de las razones asociadas de no lectura. Esto proyecta una situación que puede presentarse habitualmente en alrededor de 290 hidrómetros de la totalidad de estos. Lo cual, a pesar de considerarse un resultado alto, sí es una situación bastante

reiterativa en las rutas y el proceder de los lectores es variable, algunos respaldan una fotografía y otros estiman un consumo sin seguir un criterio establecido. Debe prestarse atención, pues algunos actos como el vertido de concreto puede provocar que se deba retirar el hidrómetro, como el mostrado en la figura 26.



**Figura 23.** Evidencia de hidrómetro cubierto por concreto endurecido. Fuente: fotografía propia.



**Figura 26.** Evidencia de hidrómetro retirado dañado por concreto. Fuente: fotografía propia.



**Figura 24.** Evidencia de hidrómetro cubierto por escombros. Fuente: fotografía propia.



**Figura 25.** Evidencia de hidrómetro con vehículo estacionado. Fuente: fotografía propia.

Por tanto, en estas situaciones atribuibles al abonado, con el nuevo colector de datos podrán ser evidenciables y se normará el proceder del lector para que haga la notificación al abonado, con el fin de que, en caso de ser reiterativo, se pueda aplicar el cobro con multa como dicta el artículo 60 del Reglamento interno del acueducto.

A pesar de que las lecturas sí se obtuvieron en 81,6% de los casos, la realidad es que una enorme cantidad de estos hidrómetros se encuentran en condiciones no apropiadas, en parte debido al ambiente al que están expuestos, pero es evidente un abandono del mantenimiento de estos. Son abundantes los casos de hidrómetros con condiciones como se muestra en las figuras 27, 28, 29 y 30. Esto genera retrasos para poder identificar la lectura, ya que no cuentan con el equipo apropiado, e incluso particularmente en una situación una señora sacó un vaso pequeño para que el lector pudiera evacuar el agua de la caja del hidrómetro y poder observar la lectura, además de ser fuente de errores por identificación por parte del personal.



**Figura 27.** Evidencia de hidrómetro cubierto por sedimentos.  
Fuente: fotografía propia.



**Figura 30.** Evidencia de hidrómetro cubierto por agua llovida y manchado por sedimento. Fuente: fotografía propia.



**Figura 28.** Evidencia de hidrómetro cubierto por pasto.  
Fuente: fotografía propia.



**Figura 29.** Evidencia de hidrómetro cubierto por agua llovida.  
Fuente: fotografía propia.

Además, se identifican otros aspectos generadores de desperdicios que se detallan a continuación:

En todos los casos, la ubicación de hidrómetros por parte de los lectores es realizada por medio de la apertura de la caja y la comparación con el consumo anterior. Esto se espera sea solucionado con la introducción del nuevo colector de datos, ya que es una fuente de procesos incorrectos, donde los lectores debieron retroceder en las lecturas y volver a abrir cajas de hidrómetros ya leídos, o pueden desencadenar errores de lectura que se conviertan en reclamos.

El vehículo se identificó como una importante restricción y generador de desperdicios relacionados a tiempos de espera, ya que entre los lectores se deben esperar mientras el lector conductor los deja en sus rutas y los vuelve a recoger. La sugerencia sigue siendo que el acueducto haga un análisis financiero sobre la inversión en motocicletas tipo scooter o un vehículo como el que utiliza el lector encargado del área de Birrisito, mostrado en la figura 31, para quienes asistan al sector de Llanos de Santa Lucía, como se discutió en la Comisión de Mejora del Acueducto.



Figura 31. Ejemplo de vehículo utilizado por el lector que asiste al distrito de Birrisito. Fuente: fotografía propia.

Hay otro tipo de situaciones no eliminables, pero sí reducibles, como el hecho constante de abonados que reclaman a los lectores por los cobros del agua, donde los lectores deben volver a realizar la lectura y explicar algún detalle al abonado. Esto no se puede intervenir directamente, pero con una

mejora progresiva en la prestación del servicio se esperaría una reducción en estas situaciones.

## Diagrama de Ishikawa de proceso de lectura en hidrómetros

De igual forma, a través del diagrama de Ishikawa, se representa gráficamente las restricciones y desperdicios identificados en este proceso en la figura 32. Los mismos en este caso también se clasifican a conveniencia en: equipo, recurso humano, proceso, transporte y organización; de forma que puedan observarse de una manera más sencilla y sea posible analizar qué acciones se pueden tomar para solucionar que el proceso se ejecute de forma adecuada.

### Diagrama de Ishikawa Desperdicios y Restricciones al Proceso de Registro de Consumo

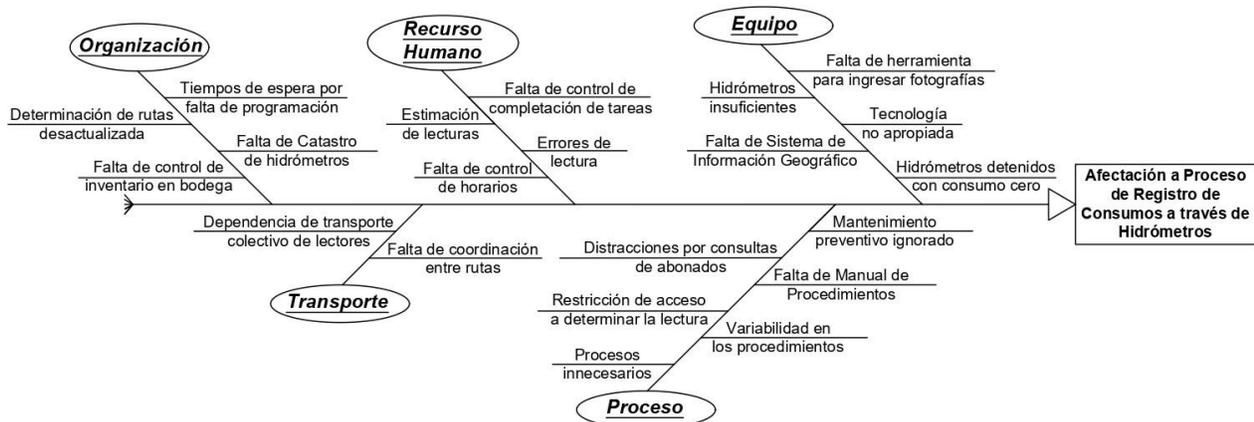


Figura 32. Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto) generado a partir de los desperdicios y restricciones identificados en el proceso de registro de consumos. Fuente: elaboración propia a través de AutoCAD.

## **Formularios técnicos**

En este caso, debido a que los registros de consumo se ingresan directamente en el colector digital de datos, no existe ni se identifica necesario realizar un formulario técnico para el desarrollo de la labor. Sin embargo, para asegurar la recolección de información necesaria para generar el Catastro de Hidrómetros, se diseñan: el Formulario Técnico de Entrada de Hidrómetros, el cual deberá ser completado por alguno de los lectores o su supervisor con la llegada de un lote nuevo de hidrómetros, el mismo se muestra en el apéndice 2.4; mientras que, en el proceso de salida de hidrómetros de bodega, se genera el Formulario Técnico de Catastro de Hidrómetros, mostrado en el apéndice 2.5. Este contiene la información que debe completar el instalador del hidrómetro en el Sistema de Información del Catastro de Hidrómetros en la requisición de uno o varios a bodega.

## **Manual de registro de consumos**

El Manual resultante generado con el fin de establecer el proceder para la aplicación de este método se muestra en el apéndice 1.3. El mismo se compone de un objetivo, resumen, alcance, responsabilidades, documentación de referencia, definiciones, equipo, procedimiento de lectura, procedimiento de levantamiento de inventario, procedimiento de salida de bodega, junto a los ejemplos de los formularios respectivos y otros anexos.

# Análisis de resultados

## Aforo de fuentes

Conociendo los aspectos mostrados en los resultados sobre el estado en que se realizan actualmente los procesos, entre otras características propias de cada procedimiento, se realiza un análisis sobre la normativa alrededor de la ejecución de los mismos, así como aspectos referentes a los funcionarios y los sitios de ejecución de los procedimientos, requerimientos de equipo, la propuesta de cronograma, entre otros aspectos de interés en la elaboración de los manuales y las sugerencias de levantamiento de restricciones.

### Reglamentación municipal interna

Dentro de la reglamentación interna, es importante contemplar los alcances de las funciones del personal que está encargado de realizar estas tareas, ya que los mismos están contratados bajo la figura de peón de obras, cuya naturaleza de sus labores de forma generalizada, según el Manual de Perfiles de Puestos de la Municipalidad de Paraíso (2020): “se orientan a la prestación de servicios operativos directos a la comunidad, para lo cual se sigue una rutina establecida, se requieren destrezas físicas y habilidades de orientación al cliente-ciudadano”. De esta forma, a través de este documento de la municipalidad, se determinan sus funciones a: “ejecutar labores de chapea, limpieza y ornato de lotes, parques, calles, zonas verdes y otros sitios públicos del cantón mediante la utilización de herramientas, tales como cuchillo, pala, pico y carretilla, con el fin de mantener un cantón limpio y libre de focos de contaminación y malos olores; participar en la

limpieza de cauces de ríos y alcantarillas, mediante el uso de las herramientas ya citadas y con los mismos fines”.

Cabe destacar que, como se mencionó anteriormente, los colaboradores encargados de realizar aforos pertenecen a la cuadrilla de mantenimiento de nacientes, por lo que, además de realizar dichas tareas normalmente asignadas, se adiciona como parte de las tareas de similar naturaleza, la obtención de aforos en las fuentes, sin embargo, dicha función no existe explícitamente en la reglamentación interna, lo cual se recomienda agregar. Además, se identifica el detalle de que no existe capacitación requerida alguna para realizar esta labor, lo cual debe tenerse presente al momento de diseñar el Manual Instructivo Técnico, procurando que el mismo sea sencillo de comprender y abre la oportunidad de aplicar el Poka-Yoke, buscando disminuir la posibilidad de errores debido al manejo de datos.

Como es visible, están encargados de realizar muchas otras tareas afines de mantenimiento para las cuales usualmente son requeridos, sin embargo, se propone direccionar el personal necesario para lograr una recopilación de datos confiables de producción hídrica para el acueducto y de paso aprovechar los mismos para realizar labores periódicas sencillas de mantenimiento preventivo y generando boletas para las labores de mantenimiento que requieren de mayores recursos de mano de obra del personal.

### Reglamentación nacional

En Costa Rica, la normativa vigente con respecto a la obtención de aforos en fuentes de agua viene dada por el Manual de Dotaciones de Agua para Calcular las Necesidades de las Solicitudes de Aprovechamiento de Aguas, una ley publicada por Decreto Ejecutivo en mayo de 2003. Este fue generado por el Departamento de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Según el mismo indica (2003), este manual tiene como objetivo, contar con un criterio técnico para

determinar cuáles son las necesidades o requerimientos de agua, para las diferentes actividades que dependen de este preciado líquido, y que requieren de una concesión de uso de la misma, la que es otorgada por el Departamento de Aguas del Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE). Uno de estos requerimientos es la correcta estimación por parte de las municipalidades, de las cantidades de agua disponible para suplir con el líquido a una comunidad.

Este reglamento, a su vez, basa sus lineamientos en las recomendaciones de la Guía de Prácticas Hidrológicas generada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Esta guía (2000) fue creada para promover la aplicación de las mejores prácticas en materia de hidrología, adaptadas a las diferentes necesidades de los Estados miembros de los cuales Costa Rica es parte, bajo el Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

Debido a esta razón, la estandarización de los procesos se realizará siguiendo las recomendaciones de dichos documentos junto al Manual de Medición de Corrientes, publicado en 2011 por la misma OMM. Así buscando seguir las indicaciones para generar confiabilidad en los datos a través del uso de buenas prácticas hidráulicas reconocidas mundialmente.

Además, la OMM (2011) afirma que: “El grado de exactitud recomendado depende principalmente de la finalidad a que se destinen los datos medidos, de los instrumentos de que sería posible disponer y de los recursos financieros disponibles, además de la variación del caudal durante la observación”. Por consiguiente, no se define como un valor constante, en varios países queda reglamentado en el ámbito nacional, pero no es la situación de Costa Rica, por lo que se definirá por la jefatura del acueducto posterior a la realización del proyecto, bajo las posibilidades dadas con los cambios ejecutados.

## Aforo volumétrico

A partir de los métodos aprobados para la obtención de aforos del Departamento de Aguas del MINAE, primeramente, se encuentra de interés el Método volumétrico, el cual indica (2003) que: “Consiste en la medición del agua con un recipiente de un determinado volumen, se

toma el tiempo de llenado de este y por simple sustitución en la fórmula, se obtiene el caudal promedio de la fuente”. Este realmente trata de un método sencillo que exige poco equipo, pero es muy preciso si se aplica con cuidado y siguiendo las recomendaciones.

La OMM (2011) afirma que: “La medida volumétrica es solo aplicable a pequeñas descargas, pero es el método más exacto de medición. Generalmente se realizan donde el flujo se concentra en una corriente estrecha, o de algún modo que todo el flujo pueda ser desviado a un contenedor”. Por esta razón, ya no se hace posible aplicar este método en riachuelos, quebradas o ríos más caudalosos y se debe migrar a otro método, en los casos presentados.

Posteriormente, este manual de la OMM (2010) indica que: “Se debe permitir que se establezca el flujo antes de efectuar la medición y repetir dicha medida tres o cuatro veces para minimizar los errores y asegurar resultados consistentes”. Sin embargo, en el manual del MINAE (2003) afirma que: “Este procedimiento se repite unas cinco veces en un tiempo de una hora, y luego se promedian los cinco caudales, para obtener un caudal promedio”. Por lo que se decide mantener la cantidad de mediciones en cinco, como usualmente se ha realizado en el acueducto; esto con el fin de generar confianza en los resultados, ya que, al aumentar la cantidad de mediciones, se reduce la variabilidad y se mejora la exactitud, además de agregar el paso de la estabilización en el Formulario Técnico de Aforo Volumétrico, al identificarse como un paso obviado en ciertas ocasiones durante las visitas.

Con respecto a los aforos realizados en pozos de agua, los métodos de medición más comunes incluyen el llenado temporizado de un volumen calibrado, caudalímetros y mediciones del caudal del orificio (OMM, 2011), por lo que se determina que es aplicable el método de aforo volumétrico anteriormente descrito. Sin embargo, para que el mismo pueda utilizarse, debe existir el sistema adecuado que permita la implementación de este.

Además, la OMM (2011) hace la aclaración que: “El caudal de un pozo de bombeo varía en función de los cambios de nivel de agua subterránea. Podría ser necesario efectuar mediciones repetidas para determinar el ritmo de variación ya que por ejemplo al poner en marcha una bomba, el nivel de agua en el pozo desciende en consonancia, y ocasiona una

variación del caudal; y dicho ritmo de bombeo se suele estabilizar en varios minutos o incluso horas”. Por lo que debe ser una previsión al generar el manual, debido a que requiere de programación.

## Aforo con molinete

Volviendo al Manual de Dotaciones de Agua para Calcular las Necesidades de las Solicitudes de Aprovechamiento de Aguas (2003), el MINAE indica como aceptado, el Método de Velocidad Subsuperficial, el cual se realiza con base en una sección transversal conocida, se mide la profundidad del río en varios puntos con una barra o estadía o sonda. Inmediatamente, se toman las mediciones de la velocidad con el molinete en uno o más puntos de la vertical (A 0.2 y 0.8 veces la profundidad y el promedio a 0.6 veces la profundidad). Por lo que se identifica que es necesario determinar una sección transversal, como se muestra en la figura 33, sin embargo, esta puede ser variable en el tiempo, junto a que por motivos de legalidad aún no es posible acceder a los puntos proyectados de captación. Por lo que, en su momento, a partir de los datos de ancho del cauce, profundidad y la velocidad del agua, es posible obtener un caudal correspondiente para cada sección; y a partir de su sumatoria se estima el caudal total.

Sin embargo, en cuanto a este método, existe una serie de condiciones que se deben cumplir en cuanto al curso del flujo de agua para

que el método sea ejecutable, los cuales, de importancia para una zona tropical, a partir de la información de la OMM (2011), se enlistan a continuación:

- 1- La sección de aforo se debe ubicar en un tramo recto, porque asociado a esto está la distribución de velocidades. Se utiliza el criterio de que el tramo sea por lo menos seis veces la longitud transversal donde se piensa aforar.
- 2- El cauce tiene que ser lo más estable posible, de tal manera que, con una simple medición a una misma altura de agua, se obtenga el mismo caudal.
- 3- Las velocidades del curso de agua deben ser medibles, debiéndose descartar secciones de aforo donde aparezcan zonas de aguas muertas (velocidad nula), contracorrientes, velocidades muy bajas o demasiado altas.
- 4- Las líneas de corriente deben ser perpendiculares a la sección de aforo y paralelas entre sí.
- 5- La sección de aforos debe estar libre de obstáculos, donde se debe limpiar ramas y vegetación acuática, próximas aguas arriba y aguas abajo, ya que esto está asociado a la rugosidad: a mayores obstáculos implica que más se frena el agua.
- 6- Las velocidades deben ser superiores a 0,15 m/s y la profundidad del área hidráulica superior a 0,3m.

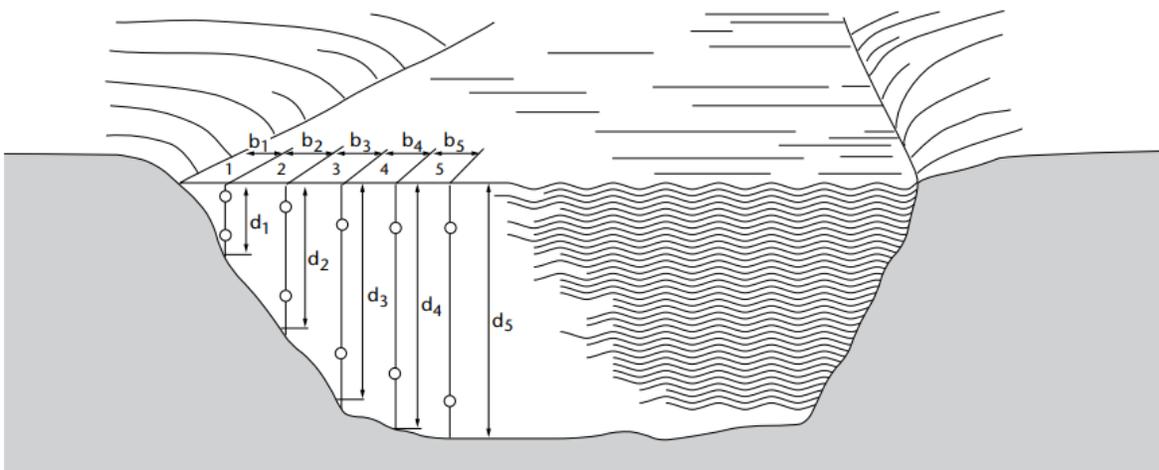


Figura 33. Vista de la sección transversal de una corriente. Fuente: Organización Meteorológica Mundial.

Además, se debe resaltar que, según la OMM (2011), la exactitud de una medición de caudal dependerá del número de verticales en que se obtengan observaciones de profundidad y de velocidad, es decir, que como en cualquier otro tipo de medición, la exactitud de esta se aumenta con una cantidad mayor de datos recolectados. La OMM (2011) indica que: "Para un nivel de confianza del 95% con 5% de error, se necesitan mediciones en 2 puntos en 20 o 25 verticales", pero, en caso de las fuentes a aforar, no es funcional establecer tantas verticales, debido a que se indica por el ingeniero que los cauces no son muy amplios, por lo que existirá una cierta inexactitud que es aceptable.

Aparte de esto, la OMM (2011) expresa que: "La distancia se determinará mediante cinta graduada o alambre perlado extendidos temporalmente a lo ancho de la corriente y usualmente se establece el intervalo entre dos verticales no sea mayor a 1/20 de la anchura total, y el caudal de cada segmento no será superior al 10 por ciento del caudal total". En otras palabras, se recomienda que la separación entre verticales sea menor a un 5% del ancho total, con caudales con una dispersión menor al 10%, por lo que se debe buscar que esto se cumpla durante la realización del procedimiento o en su caso sea indicado.

Mientras que, por otro, para la medición de profundidades, la OMM (2011) recomienda realizarla: "...leída directamente sobre una varilla graduada insertada en el área hidráulica, por su facilidad y porque no requiere de equipo extra, la utilización de una estadía debidamente graduada para la medición de las profundidades a través de diversos puntos".

Con respecto a la medición de velocidad, existen varios métodos, pero usualmente se estima mediante las revoluciones del rotor de molinete en un tiempo determinado con ayuda de un cronómetro. Según la OMM (2011): "Las observaciones de velocidad se efectúan en uno o más puntos de cada vertical mediante un recuento de las revoluciones del rotor suspendido mediante una barra durante un período no inferior a 30 segundos".

Previo a la toma de lecturas, se debe permitir que se alinee con la dirección del flujo y el eje horizontal del mismo no estará situado a una distancia inferior a una vez y media la altura del rotor respecto a la superficie del agua, ni a una distancia inferior al triple de la altura del rotor

desde el fondo del canal; en adición, todas las partes del molinete deberán estar sumergidas (OMM, 2011).

Por otro lado, propiamente para la determinación de la velocidad la OMM (2011): "permite seguir métodos de distribución de velocidades, métodos de un número discreto de puntos o el método de integración, cuya selección depende del tiempo disponible, de la anchura y profundidad del agua, de las condiciones del lecho, de la tasa de variación de la altura y propiamente la velocidad de la corriente".

Por tanto, en caso de las fuentes de interés para su aforamiento por este método, dependiendo de sus características teniendo en cuenta que sus caudales varían con el tiempo, se debe realizar la aplicación de los métodos según la OMM (2011) de la siguiente forma:

- El método de los dos puntos se utiliza cuando la distribución de velocidades es normal y la profundidad es superior a aproximadamente 60 cm.
- El método de un solo punto cuando la profundidad es menor a 60 cm.
- El método de los cinco o seis puntos se utilizará cuando la distribución vertical de la velocidad sea muy irregular.
- El método de los dos décimos se utiliza principalmente cuando no es posible situar el medidor a 0,8 o 0,6 veces la profundidad.
- El método de la velocidad superficial puede utilizarse para medir flujos de velocidades tan altas que no sea posible obtener sondeos de profundidad.

## **Levantamiento de nacientes y funcionarios**

Para determinar los métodos de obtención de aforos, existen varios métodos en los que se debe diferenciar el tipo de fuente que se quiere medir y el tamaño de su caudal, ya que algunos, dependiendo del caso, se pueden volver no recomendables o imprecisos. Sin embargo, la base de estos es la misma: obtener un caudal dado por la velocidad y el tiempo.

A partir de la información dada por la jefatura, así como la normativa recién indicada, se decide que, en caso del listado de nacientes, se continuarán ejecutando métodos volumétricos, a través del llenado de un recipiente con volumen

conocido, sin embargo, se realiza la salvedad por parte de la municipalidad que las fuentes correspondientes a Trapiche 1 y 2, La Minita y Río Naranjo poseen un caudal considerado alto, junto a otras condiciones, el método volumétrico, se inaplicable. Por lo cual debe considerarse, para poder realizar la recomendación, qué método debe aplicarse en un futuro cercano.

Por otro lado, con respecto al personal, mediante la identificación de sus funciones en el reglamento interno y limitaciones propias, se evalúa realizar una nueva propuesta de cuadrilla que permita alcanzar el objetivo de la jefatura en cuanto a la periodicidad semanal de realización de aforos o al menos de forma quincenal, como se propone junto al gestor ambiental de la municipalidad. Esta generaría una mejora en el consumo de mano de obra para la ejecución del proceso, como se detalla en el análisis del cronograma.

Sin embargo, queda abierto a decisión posterior del acueducto la designación de los colaboradores que realizan las obtenciones de aforos por método del molinete y en los pozos de aprovechamiento municipal, al tratarse de tareas programadas posibles de realizar en un mediano plazo con requerimientos de personal diferentes.

## Acercamiento al personal

Bajo los principios abordados en el Marco teórico sobre la importancia de incluir a los responsables de la ejecución del procedimiento en la mejora de este y para el entendimiento propio del ambiente en que se desarrolla el proceso, se realizan las preguntas que se muestran en el apéndice 5.2 y 5.3. De estas es posible obtener parte de la información sobre el estado actual de los procesos

## Requerimientos de equipo

En el caso del equipo, ya es de propiedad de la municipalidad, pero puede sustituirse, por lo que claramente, al generarse los desperdicios descritos por este motivo, se sugiere realizar la compra. Para esto se debe tener claro que la OMM (2011) manifiesta que: “El grado de exactitud recomendado depende principalmente de la finalidad a que se destinen los datos

medidos, de instrumentos que se podrían utilizar y de los recursos financieros disponibles por lo que no se puede definir con un valor”, por lo que la exactitud requerida queda abierta a la disponibilidad de presupuesto de la municipalidad. Mientras que una de las principales fuentes de error está vinculada a la variación de las características de medición de los instrumentos, por lo que, a partir de lo observado con respecto al equipo utilizado, significa una de las oportunidades más sustanciales de mejora de exactitud y confianza en los datos.

## Aforo volumétrico

**Volumen de control.** Se deben utilizar volúmenes conocidos propiedad de la municipalidad con uso específico para esta tarea. Además, sustituirse los anteriormente utilizados por recipientes más adecuados. Durante el proyecto se dio la selección por parte de la jefatura de los volúmenes con contenidos de 5L, 10L, 25L y 60L, mostrados en la ficha técnica del Anexo 2.

Uno de los desperdicios por procesos inadecuados es la selección de este, pues, según los aforadores, un recipiente más pequeño genera menor error y los tiempos recogidos en su mayoría eran menores a 5 segundos; mientras que, según Basán (2008): “Mientras más grande sea el depósito, mayor será el tiempo necesario para llenarlo y más precisa la medición, el error se minimiza tomando tiempos mayores a un minuto”. Sin embargo, en caso de que no sea posible alcanzar dicha duración, no significa que el dato no sea aceptable, por lo que, en el aforo de las nacientes del acueducto, para obtener estos tiempos de llenado, se tendría que utilizar recipientes excesivamente grandes por lo que, al no ser funcional, la recomendación es que se utilicen recipientes que permitan tiempos de al menos 10 segundos, tomando en cuenta que esto influye levemente en la precisión e inexactitud de los datos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1992). Tomando en cuenta que, según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1992): “Si se desea determinar el gasto con un margen de exactitud del 1%, se requieren 20 segundos para llenar el depósito y en forma similar a 2%, corresponden 10 segundos; para el 4%, 5 segundos, y así sucesivamente”.

Según la OMM (2010): “El recipiente puede ser calibrado de dos formas, primeramente, agregando agua por incrementos conocidos con ayuda de un *beaker* donde se observan y cuantifican dichos incrementos o mediante el uso de una balanza que permita obtener las masas del recipiente vacío y posteriormente la del recipiente llenado por completo. Así entre la diferencia de estas, se obtiene una masa de agua y a través del peso específico de la misma, se puede determinar la capacidad volumétrica del recipiente”. Por lo que se establece que es más factible para el Departamento realizar la compra de un *beaker* que permita la verificación de los instrumentos por lo menos una vez cada 6 meses.

**Cronómetro digital.** Se emplea un cronómetro digital con resolución muy alta, innecesaria para los fines del acueducto, también propiedad de la municipalidad, aunque prestado de otro departamento; y que, como se comentó, está generando desperdicios por sobreproducción y defectos, por lo que se da la recomendación de sustituirlo por cronómetros de hasta centésimas de segundo, (00'00"00 ± 0,01s). Deberían usarse únicamente para este fin. No se permite el uso de relojes analógicos ni cronómetros del celular. Se determina que la calibración de este no se realiza por parte de la municipalidad, debido a su complejidad.

## Aforo con molinete

**Cinta métrica.** Se utiliza una cinta métrica sencilla propiedad de la municipalidad, pero no tiene porqué destinarse únicamente para este fin debido a su esporádica utilización. La misma debe poseer una graduación de hasta 0,001m como las cintas métricas cotidianamente utilizadas.

**Molinete o correntómetro.** Para este caso, se utiliza un correntómetro universal por adquirir, cuyo modelo no queda establecido, pero sí recomendado. Se espera que el mismo tenga una resolución de hasta 0,001 m/s y que no esté limitado para pequeños caudales, por lo que una posibilidad en el mercado costarricense es el molinete universal F1 de SEBA, el cual, según su fabricante Seba Hydrometrie GmbH & Co. KG (s.f): “Está diseñado para determinar la velocidad de la corriente del agua en arroyos, ríos, canales y en el mar. El molinete puede ser usado

instalado sobre una barra-soporte o bien suspendido de un cable trasbordador, y permite mediciones de 0,025 m/s hasta 10 m/s”. Su ficha técnica se adjunta en el Anexo 3.

Además, la OMM (2011) indica que: “La distancia se determinará mediante cinta graduada o alambre perlado extendidos temporalmente a lo ancho de la corriente, aunque existen otros métodos, mientras que para la medición de profundidades se recomienda realizarla leída directamente sobre una varilla graduada insertada en el área hidráulica”. Por lo que, debido a las características propias de la fuente para las cuales se está proponiendo este método, por su facilidad y porque no requiere de equipo extra, se sugiere la utilización de una estadía debidamente graduada para la obtención de su profundidad y no recurrir a otros sistemas de medición que requerirían de equipo extra.

**Estadía.** Regla graduada simple con resolución de hasta 0,01m; con un modelo aún por adquirir, pero hecha en aluminio con nivelación telescópica y tintas resistentes a la corrosión, por lo que se recomienda el modelo Site Pro E-métrico de 5 m; mostrada en el Anexo 4.

## Registro en bitácora

En caso de la presentación de solicitud de concesión para el aprovechamiento de aguas, según el Departamento de Aguas del MINAE (2003): “se solicita que el informe técnico contenga: memoria de cálculo, fecha del aforo, caudal en litros por segundo, ubicación cartográfica, plano de ubicación del aforo, metodología utilizada...”. Por tanto, estos aspectos se tomarán como anotaciones necesarias parte del registro histórico del acueducto, ya que es la forma de este de mantener una evaluación permanente de la capacidad hídrica de sus fuentes de agua, objetivo para el cual se realizan los aforos. Sin embargo, los detalles de anotación requeridos dependen directamente del método utilizado, pero en ambos casos se realiza buscando la eliminación de errores por olvidos.

## Aforo volumétrico

Se busca desarrollar un Formulario Técnico sencillo, claro y que contenga únicamente la información que es necesaria, ya que, como se mencionó, sus usuarios no cuentan con preparación técnica. Además, se implementa un Poka-Yoke que permite anotar un número natural consecutivo de recipiente y automatizar la relación con su capacidad en oficina.

Para este método, ya que los cálculos no son realizados en campo, se prioriza la correcta anotación de los tiempos de llenado de los recipientes conocidos, junto a la numeración asignada a cada uno de estos, además de incluirse un espacio para verificar el cumplimiento de la estabilización del flujo y un espacio en donde se indica si fue posible ejecutar o no el aforo. Anteriormente, se utilizaba el siguiente formulario mostrado en el anexo 5, sin embargo, cabe resaltar que se logró observar que los colaboradores no utilizan el formulario, sino una hoja blanca con sus propias anotaciones y los datos fueron recibidos por la supervisión del acueducto.

Sin embargo, la recomendación principal es introducir el uso de un recolector de datos. Para lo cual se tiene la aprobación de la jefatura y se espera pueda comenzar a utilizarse en un corto plazo. De esta forma, los datos del Formulario Técnico pasarían a introducirse en el colector y, posteriormente, descargados en un formato de texto (.txt), para luego ser importados en la Hoja de cálculo con el fin de obtener los aforos resultantes.

Esto traería una mejora sustancial al generar una reducción de pasos y una disminución de posibilidad de errores; una disminución en el recurso humano necesario para la estimación de los caudales, además de que funcionará como solución para la eliminación absoluta de transcripción de datos por parte de los aforadores y la eliminación de uso de papel. En caso de que el mismo pudiese implementarse, sería importante identificar qué necesidades tendría, ya que funciones como el ingreso de fotografías o localización GPS aportarían muy considerablemente al proceso.

## Aforo con molinete

En este método, ya que los cálculos se realizan posteriormente, se priorizan las lecturas obtenidas a través del correntómetro, además, muy importante, las alturas del tirante hidráulico y puntos de medida y separación. Es necesario incluir un esquema de la sección transversal determinada, ya que es de suma importancia para asegurar que las medidas se están efectuando en los puntos correctos y poder realizar los cálculos de resultados, por tanto, se da un espacio para la inclusión de este diagrama. Además, al existir una serie de condiciones que la sección transversal debe cumplir, se incluye un apartado con un listado de verificación de cumplimiento de estas, para identificar que dicho cumplimiento se da en cada ocasión que se toman las mediciones con el fin de que estas se puedan considerar válidas.

## Introducción de Hoja de cálculo

Como se ha mencionado, se propone que los cálculos no sean realizados en campo, sino mediante herramientas tecnológicas a cargo ya sea del ingeniero del acueducto o del gestor ambiental, por lo que se diseña un Formulario Técnico para Aforo Volumétrico, que permitirá la recolección de dichos tiempos obtenidos en las mediciones, además de información característica de la medición de interés para la municipalidad que se adjunta en el apéndice 2.1

Posterior a ello, en la oficina se debe supervisar que los datos sean subidos a la Hoja de Cálculo de Estimación de Caudales, elaborada a través de Microsoft Excel, la cual en este caso se suministrará al acueducto, de donde se obtienen los resultados para que sean registrados en el histórico.

En esta, es solamente necesario ingresar los datos que se encuentran en celdas amarillas correspondientes a los cinco datos de las duraciones de llenado de los volúmenes, el dato del número de recipiente y el porcentaje de desviación aceptado del que se hablará más adelante; ya que se propone asignar una numeración consecutiva por orden ascendente de capacidad volumétrica, aplicando un Poka-Yoke. Ya que, a la hora de ingresar los datos al sistema, es más sencillo que se ingrese únicamente un dígito y que él mismo lo relacione a su capacidad de forma automatizada, mejora el

rendimiento en la digitalización de datos y disminuye los errores tanto en campo como en la oficina.

Esto porque, a pesar de no haberse evidenciado como una problemática, es una consideración esencial, ya que la cantidad de datos recolectados se verá aumentada considerablemente y esto requiere de mayor recurso humano en la oficina. También se hace parte de este, un sistema para la identificación automática de datos con una desviación mayor, un porcentaje entre los promedios, que posteriormente será establecido por la jefatura del acueducto cuando continúen con el proceso de implementación de cambios, para que sea posible evidenciar cuáles datos se sugiere no sean tomados en cuenta al momento de realizar los cálculos. Esto también para que, en caso de que la variación se dé en 3 datos o más, se pueda recomendar volver a realizar la medición.

## **Alternativas para la obtención de aforos**

### **Macromedidores**

Una opción práctica, confiable y accesible consiste en este tipo de artefactos, los cuales según NV Tecnologías (s.f.): “son dispositivos que sirven para medir tanto el caudal instantáneo de agua que circula a través de una tubería, como el total acumulado de agua que ha fluído durante un tiempo determinado”. La utilización de estos es común en los sistemas de abastecimiento de agua, y en sistemas de abastecimiento de uso industrial o agrícola, ya que en ocasiones suelen representar la opción más apta económicamente, si se tiene la capacidad de inversión. Estos consisten en aspas transversales a la circulación del caudal que movilizan el contador, al igual que los hidrómetros utilizados para la micromedición de consumos comercial o domiciliarios. Por tanto, existen en diversas capacidades según la necesidad, sin embargo, a la vez, tienen la desventaja de que cuentan con una vida útil que se podría considerar corta, variable en función de su presión de trabajo.

### **Caudalímetros ultrasónicos**

Existe la posibilidad de aplicar un método ultrasónico, el cual según la OMM (2011): “Consiste en medir la velocidad del flujo a determinada profundidad transmitiendo simultáneamente impulsos sónicos a través del agua desde transductores situados a ambos lados del caudal de interés. Los transductores, son artefactos diseñados para transmitir y recibir impulsos sónicos, situados en las márgenes opuestas. La diferencia entre el tiempo de desplazamiento de los impulsos que atraviesan el río en dirección de la corriente y de los que lo cruzan contracorriente está directamente relacionada con el promedio de la velocidad del agua a la profundidad de los transductores. Este valor de la velocidad puede vincularse a la velocidad promedio del flujo en el conjunto de la sección transversal y por ende proporcionar el valor del caudal”. Este tipo de sistemas requiere de mayores recursos para su instalación y de constante calibración. Su costo puede rondar los 700 mil colones, sin embargo, hay casos conocidos como el de la Municipalidad de Poás, donde se considera muy beneficiosa su inversión, en un acueducto que apenas llega a 5600 abonados; aunque, en dado caso de poder realizar la inversión, su uso sería más aprovechable en pozos o tanques de almacenamiento que en nacientes, debido a las implicaciones que se tienen para realizar el aforo en pozos y que solo se trata de cuatro pozos de uso municipal.

## **Análisis Propuesta cronograma de aforo de nacientes**

Se hace parte de este proyecto, bajo solicitud de la jefatura del acueducto, la propuesta de un cronograma semanal de aforos propiamente de las nacientes, para poder generar una recolección más controlada y representativa de los datos sobre la producción hídrica de abastecimiento al sistema. Esto vendría también a estandarizar la frecuencia de la tarea, para que la misma pueda repetirse a través de las diferentes nacientes con una deseada periodicidad.

Para esto, se agrega la información de las tareas usuales de mantenimiento, las cuales, según Varela (2020), se ejecutan en 20 días en la

totalidad de las nacientes y se enlistan las siguientes:

- Chapia
- Limpieza interna tanques
- Limpieza interna de captación
- Cepillado de tanques
- Barrido de tanques
- Limpieza área verdes
- Revisión de tapas y candados
- Limpieza de rótulos
- Reparación de cercas
- Chapia de conducción
- Recorrido de conducción de naciente

Conocer estas tareas es de importancia porque se pretende que la tarea de aforo de nacientes se incluya dentro de las labores cotidianas de mantenimiento buscando tener una mejora en el uso del recurso humano y de vehículo, ambos limitados, y así permitiendo disminuir los desperdicios generados por tiempos de traslado a los sitios, que son objetivo tanto para tareas de mantenimiento como para tareas de medición. Sin embargo, se manifiesta que son aproximaciones muy generalizadas y que suelen verse afectadas muy fácilmente por diversas variables.

Estas no son realizadas en su totalidad en cada visita, sin embargo, sí son recurrentes. Además, algunas pueden tardar un poco más o no ser del todo necesarias en ciertas ocasiones, e incluso dependen del lapso existente entre la repetición de estas, como el caso de las chapias o de situaciones climáticas atípicas como la caída de árboles. La propuesta va direccionada a que el mantenimiento se dé bajo una lista de inspección que permita realizar labores menores y que mediante el Formulario Técnico de Requisición de Mantenimiento se solicite de una forma más directa la realización de tareas que requieran de mayores recursos de tiempo, maquinaria o personal.

Para esto, se planifica generar una nueva ruta de trabajo, que permita acudir a los diversos sitios de una forma ordenada, con ayuda de localización en la herramienta Google Maps, en donde se localizaron las mismas a través de una lista de coordenadas suministrada por el gestor ambiental y obteniendo un resultado mostrado en los apéndices 6.1, 6.2 y 6.3.

Debe hacerse la salvedad de que se logró constatar que, para los casos en que se enumeran las nacientes con el mismo nombre, como en caso de Boquerón 1, 2 y 3, es porque existen diversos afloramientos localizados en una misma ubicación, a no más de 50 metros uno de otro, a los que se ingresa por el mismo acceso con la única excepción de Urasca 1, 2 y 3; ya que el recorrido de acceso a la 3 es aparte de la 1 y 2, pero esto no es significativo para el cronograma.

Junto a sus coordenadas, se añaden los tiempos de traslado desde el Plantel, obtenidos a través de la herramienta de Google Maps y el tiempo de traslado de la carretera al sitio específico de cada naciente, pues algunos pueden ser casi inmediatos y otros requieren de un mayor tiempo para completar el trayecto, para lo cual se utilizará la información suministrada por el gestor ambiental municipal, todo lo anterior se muestra en el cuadro 17.

Cuadro 17. Coordenadas geográficas, distancias y tiempos de traslado de las nacientes					
Naciente	Latitud (decimal)	Longitud (decimal)	Distancia del Plantel (km)	Tiempo de traslado (minutos)	Tiempo caminando (minutos)
Guayabal	+9.8544810	-83.8735390	2,0	8	-
La Capira	+9.8784650	-83.8541340	10,5	20	-
Parrúas	+9.8609770	-83.8355520	6,2	10	-
Luis Guzmán	+9.8278270	-83.8534320	3,7	10	-
Urasca 1, 2 y 3	+9.8403690	-83.7812020	13,8	30	15
Loalza	+9.8132110	-83.8167610	20,0	30	20
Volio 1, 2 y 3	+9.8089090	-83.8062070	17,5	40	10
Chilamate 1 y 2	+9.8196270	-83.7993090	16,1	35	30
Mero	+9.8556340	-83.8733150	2,0	10	-
Nicanor	+9.8235660	-83.7804000	17,5	40	15
Jorge Obando	+9.8264000	-83.7881390	16,3	35	-
Bosque 1, 2 y 3	+9.8548390	-83.8756490	2,2	10	-
Helechos de Cuero 1 y 2	+9.8554790	-83.8799570	2,7	12	15
Higuerones 1 y 2	+9.8762290	-83.8703710	14,6	25	15
Las Huertas 1 y 2	+9.8820330	-83.8608960	12,4	25	15
Boquerón 1, 2 y 3	+9.8850330	-83.8638960	12,5	20	15
Miradores 1 y 2	+9.8867850	-83.8621040	12,6	20	10
Trapiche 1 y 2	+9.84201602	-83.82318745	8,3	15	-
La Minita	+9.84013900	-83.82674268	7,0	10	-

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

Dichas ubicaciones se logran agrupar en la herramienta de Google Maps para generar una lista de lugares guardados, mediante la cual, al compartir el enlace con cualquier usuario, se puede acceder a la ubicación geográfica de las mismas con la herramienta. Dicha herramienta es de utilidad no solo para funcionarios del acueducto, sino también para otros funcionarios administrativos municipales.

**Enlace:**

[https://www.google.com/maps/placelists/list/sp8v1rCeZ8UnArPrHq\\_mdMNDOxEKqA](https://www.google.com/maps/placelists/list/sp8v1rCeZ8UnArPrHq_mdMNDOxEKqA)

A partir de esta información, se diseña una ruta agrupando las nacientes según los sectores donde se encuentran, sean estos: Centro, Norte y Sur, siendo el sector norte el que abarca las nacientes cerca de las localidades de Paso Ancho, Boquerón y Cipreses y el Sur la zona que abarca las nacientes cercanas al sector de Cachí; agrupadas de la forma que se muestra a continuación. Las mismas se muestran en un orden definido como lógico y eficiente, observando sus localizaciones en la herramienta de Google Maps, se busca generar los menores desperdicios por transporte al momento de recorrer un circuito, además de considerar las de mayores recorridos caminando con prioridad.

Cuadro 18. Propuesta de subdivisión y orden de ruta según localización en el cantón.		
Sur	Centro	Norte
Chilamate 1	Mero	Parruaz
Chilamate 2	Guayabal	La Capira
Loaiza	Bosque 1	Boquerón 1
Volio 1	Bosque 2	Boquerón 2
Volio 2	Bosque 3	Boquerón 3
Volio 3	Helechos 1	Las Huertas 1
Urasca 1	Helechos 2	Las Huertas 2
Urasca 2	Luis Guzmán 1	Mirasol 1
Urasca 3	Luis Guzmán 2	Mirasol 2
Jorge Obando		Higuerones 1
Nicanor		Higuerones 2

Fuente: elaboración propia a través de Microsoft Excel.

De esta forma, para ejecutar la propuesta del cronograma de aforo con el fin de que sea posible reducir la variabilidad y se obtengan datos confiables y representativos sobre la producción de las nacientes, se propone lo siguiente:

- Que se aumente el número de colaboradores a cuatro, para que los mismos asistan a la totalidad de las nacientes semanalmente y así, mientras dos se dedican a seguir el procedimiento del Manual Técnico para Aforo Volumétrico, los otros dos proceden a realizar el mantenimiento preventivo y en chequeo, en caso de requerirlo, completar el Formulario Técnico de Requisición Mantenimiento de Nacientes.
- A través del Manual Técnico para Aforo Volumétrico, se obtienen los resultados de los tiempos que se deben anotar en el Formulario Técnico de Aforo Volumétrico.

- Al completar el Formulario Técnico de Requisición Mantenimiento de Nacientes, se chequea una lista de control, donde se verifica si es requerida la realización de una tarea de mantenimiento y se describe la misma para que, al entregarse al departamento, se programe ejecución.
- Los aforos y la inspección de mantenimiento se concentran en los primeros tres días de la semana, y los dos restantes la cuadrilla encargada de estas tareas asiste a las labores usuales de mantenimiento o fontanería; pero podría asistir a la realización de algún aforo que se haya imposibilitado durante la semana por alguna razón de peso como condiciones climáticas o un feriado, por ejemplo. Esto último debe ser supervisado por la jefatura del Acueducto, para que sea manejada dicha libertad de acomodo a conveniencia del departamento.
- Se diseña una ruta que contempla acudir a los sitios tomando en cuenta las restricciones de accesos, así como los casos de las nacientes que requieren un mayor recorrido caminando para llegar al sitio de aforo, debido a la dificultad incrementada cuando se realiza con condiciones de lluvia.
- Algunas tareas como las chapias y limpiezas de zonas verdes, así como la limpieza de tanques se deberán repetir frecuentemente en tiempos aceptables.
- De esta forma, se pretende que sea posible utilizar los recursos de una manera más eficiente, para que exista una cuadrilla de tres colaboradores que asista directamente a realizar las labores de mantenimiento que son reportadas de importancia, mientras que, de forma paralela, los mismos pueden estar disponibles para asistir en labores de fontanería cuando es requerido, pues según Varela (2020): “Siempre se determina una cantidad de días semanalmente en la que la cuadrilla de mantenimiento de nacientes asiste a labores de fontanería imprevistas en donde son requeridos”. Esto último porque suelen acumularse y usualmente requieren solución inmediata.

## Manuales de procedimiento

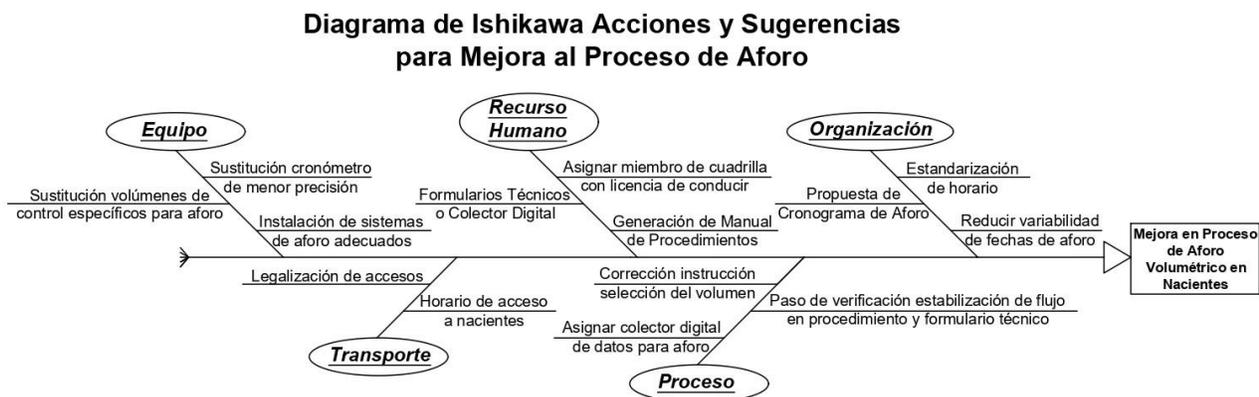
De esta forma, mediante todas las observaciones anteriormente abordadas de caracterización del proceso, así como los resultados del recorrido de inspección, se generan los manuales de aforo descritos en los resultados, donde, para ambos procesos, se definen los objetivos conociendo el fin del método y el alcance a través de la observación y determinación de en qué formas el método es aplicable según la normativa. Las responsabilidades se determinan según sus funciones, así como se establece una propuesta de programación. Se diseña el procedimiento y se da a conocer la forma de ejecutar los cálculos en oficina; mientras que, en caso del aforo volumétrico, se introduce el Poka-Yoke y se genera la hoja de cálculo previniendo que se va a requerir de mayor recurso humano para el procesamiento de los datos.

Así, en la intervención del proceso se analiza por completo, y se generan acciones

buscando disminuir los tiempos de ciclo y simplificar los pasos, así como mejorar la transparencia de los procesos al permitir una mejor supervisión, aumentar valor a partir de la corrección de aspectos con influencia en la exactitud de los resultados y disminuyendo las actividades que no aportan valor; es decir, aplicando la mayoría de los principios de Lean Construction.

## Diagrama de Ishikawa de sugerencias para restricciones al proceso de aforo volumétrico

Así, de esta forma, se muestra de manera gráfica tanto las acciones implementadas como las que quedan como sugerencias para los desperdicios y restricciones identificadas a través de un Diagrama de Ishikawa, mostrado en la figura 34.



**Figura 34.** Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto) generado a partir de las sugerencias de solución a las restricciones identificadas en el proceso de aforo. Fuente: elaboración propia a través de AutoCAD.

# Registro de consumo

## Rutas y funcionarios

Respecto a las rutas que se muestran en los resultados, no se puede realizar un análisis de valor para reasignarlas, pues no solo dependen de la cantidad de hidrómetros, sino que tienen características propias que necesitarán de un mayor tiempo para poder considerarse, por ejemplo, menciona Alvarado (2020): “Antes de pensar en la cantidad de medidores que debe leer cada colaborador de lectura es la distancia que se debe recorrer de un medidor a otro porque no es lo mismo hacer lectura en el centro del Paraíso que todos los medidores son continuos a tomar lectura en Birrisito o San Francisco donde las distancias entre un medidor y otro son significativas”, donde estas rutas están asignadas al lector #1.

Cabe resaltar que, exceptuando las rutas 68 y 69, todas ya están distribuidas entre los lectores, por lo que, al considerarlas rutas cortas, se sugiere asignarlas al lector #3, ya que con el cuadro 15 se evidencia que es el lector con la menor cantidad de hidrómetros y que no se cumple que el lector #1, quien se conoce realiza los recorridos más largos, tenga menos hidrómetros por esta razón, como se describía en la lógica anterior; por lo que podría mostrar que se debería hacer una actualización en sus rutas, realizando un análisis más profundo y actualizado a las necesidades actuales. Además, se hace la recomendación de que, por lector, se realice una nueva programación de estas, contemplando agrupar por locaciones, para que quede coordinado entre lectores el uso del vehículo.

Al momento de realización del proyecto, se ha planteado la posibilidad de implementación de rotación de rutas entre los lectores; lo cual se considera contraproducente. Desde un punto de vista de Lean Construction, es decir, desde un análisis técnico en mejora de los procesos, ya que uno de los principios por aplicar es reducir la variabilidad de estos mediante la estandarización, ya que la repetición de una tarea provoca un efecto de mejora en el consumo de recursos materiales y de tiempo. Lo que tendría una mejora en el recorrido, además de que, como

indican sus colaboradores, les permite tener un mayor orden sobre la situación de estado de las mismas. Esto es de valor, ya que, durante los recorridos, se evidenció que los lectores literalmente deben buscar los hidrómetros debido a las diversas situaciones mostradas con las fotografías.

## Reglamento interno

En cuanto a la reglamentación interna, en el Manual de Perfiles de Puestos de la Municipalidad de Paraíso (2020), se definen los alcances de las funciones del personal que está encargado de realizar estas tareas, ya que los mismos están contratados bajo la figura de lectores de hidrómetros, cuya naturaleza del trabajo se orienta a la: “prestación de servicios básicos administrativos de variada naturaleza al usuario interno y externo, tales como: recepción y registro de documentos, resolución de consultas, localización y registro de datos y documentos”. En el mismo manual (2020), se describen las actividades generales asignadas para un lector como: “Realizar la lectura de los hidrómetros en casas, locales comerciales e industrias, reportar defectos en los hidrómetros que impiden su correcta lectura; atender reclamos por supuestos cobros excesivos, mantenimiento preventivo y cambio de hidrómetros defectuosos, notificaciones. Verificar en el sitio posibles fugas de agua, la investigación de las condiciones particulares que se presentan debido a reclamos y la utilización de herramientas. Notificaciones, Incorporación de información de lecturas a sistema de información que alimenta información para las respectivas facturaciones mensuales, Atención a público personal o vía telefónica para resolver dudas de los contribuyentes”, por lo que claramente se detalla qué funciones quedan dentro del alcance de un lector y le permite diversificar un poco sus labores de únicamente las cotidianas de registrar consumos a partir de los hidrómetros.

Además, en el mismo Manual de Perfiles de Puestos de la Municipalidad de Paraíso (2020): “Identifica como características personales deseables la atención al detalle, trabajo en equipo, servicio al usuario y relaciones interpersonales”; lo cual se desea destacar que es de importancia, ya que los mismos suelen relacionarse con los consumidores, esto, dependiendo del caso, podría volverse

complicado, debido a que suelen atenderse reclamos donde los abonados podrían actuar con enojo y sin paciencia. Sin embargo, al menos durante el acompañamiento a inspecciones, se logra observar que el trato de los lectores a los consumidores es bastante bueno, con gentileza y los contribuyentes suelen quedar satisfechos.

Por último, debe destacarse que, a diferencia de antes, el Manual de Perfiles de Puestos de la Municipalidad de Paraíso (2020) agregó solicitaciones de capacitación deseada, pues anteriormente no se contemplaba como requisito: “Conocimientos deseables de los servicios y procedimientos municipales, así como conocimientos sobre leyes y reglamentos y dominio de softwares básicos como Excel, Word y Power Point”. Esto, pues los mismos han ido utilizando cada vez más las herramientas tecnológicas para la realización de sus labores, lo cual sería ineficiente si no contaran con el manejo de estos programas.

Por otro lado, la municipalidad cuenta con su propio Reglamento para la Operación y Administración del Acueducto de la Municipalidad de Paraíso (2020), donde se identifica lo siguiente de interés para el análisis del proceso:

**Artículo 26.** La lectura de los medidores de agua y el cobro se hará mensualmente y se cobrará conforme a la cantidad de metros cúbicos consumidos. Se autoriza a la Dirección a modificar el rol de lectura, según las necesidades municipales.

Por lo que se identifica que, en caso de analizarse la posibilidad de la implementación de un sistema de pago con un período más amplio, se tendría que hacer la modificación al reglamento, ya que algunos lectores han sugerido evaluarlo, pero el proceso para realizar el cambio es bastante complicado, pues implica una modificación en la organización económica de la población debido a la acumulación de pagos.

**Artículo 33.** Define las condiciones de lugar y tiempo de los abonados para reclamos por cobros, y a partir de los artículos 34, 36, 37, 38 y 39 y 41, estipulan diversas razones oficiales a las cuales se puede atribuir una incapacidad de facturación normal por consumo. La razón de incapacidad de cobro normal se determina por medio de una visita adicional de inspección por parte de los lectores, las cuales se definen de la siguiente forma:

- Desperfectos debidamente comprobados en el Laboratorio de Hidrómetros (Art. 34).
- Acumulación de lecturas donde no se haya comunicado por escrito a los contribuyentes algún impedimento atribuible al abonado (Art. 36).
- Identificación de Alto consumo (Art. 37).
- Error de lectura atribuible al lector (Art. 38).
- Fugas no visibles dentro de la propiedad (Art. 39).
- Fuga delante del medidor (Art. 41).

Sin embargo, los diversos artículos estipulan realizar el cobro con diversos métodos. Lo recomendable y más aún si este proceso se realiza manualmente, automatizado por medio del colector. Además, se añadirá como paso para el lector que, en caso de no poder realizar la lectura debido a alguna causa de peso, debe mostrar prueba fotográfica para que absolutamente en todos los casos se pueda reportar al abonado e identificar si se le puede atribuir o no de inmediato

**Artículo 43.** Determina como una de las responsabilidades del abonado en el inciso d): Autorizar el acceso a su propiedad del personal Municipal debidamente identificado, para realizar inspecciones propias de su competencia y en el inciso e) Mantener accesible el lugar donde se ubica el medidor de agua (libre de escombros y otros materiales) para facilitar la lectura y el mantenimiento que corresponda

Sin embargo, a pesar de identificarse como una responsabilidad del abonado, no existe forma alguna de sanción por el incumplimiento de estas. En su caso, sería recomendable que el acueducto haga la modificación al reglamento y que el lector deba reportar la situación mediante el colector de datos, pero que, en caso de reincidir una cierta cantidad de veces en un período determinado por la municipalidad, sea sancionable económicamente.

**Artículo 46.** La Municipalidad de Paraíso se encuentra facultada para dictar la orden de suspensión del servicio de agua potable por falta de pago, pero, además, incluye en el punto 2) Cuando las instalaciones del abonado estén defectuosas o no se corrijan las deficiencias (prevenido con anterioridad por escrito) y el punto 4) Cuando se manipule algún medidor de agua o

tapa de la caja del medidor propiedad de la Municipalidad y el punto

**Artículo 56.** Los desarrolladores de condominios deben definir ante la Municipalidad si van a optar porque se les cobre el servicio de agua mediante un macromedidor o si van a optar por micromedición interna. En todos los casos el desarrollador deberá instalar un dispositivo para macromedición de acuerdo con las especificaciones técnicas suministradas por la Dirección de Recurso Hídrico.

En caso de micromedición interna, la administración del condominio deberá garantizar el libre tránsito en vehículos o a pie de los Lectores de Hidrómetros”.

Esto es de resaltar, pues una de las quejas usuales de los lectores, mediante las entrevistas, son los tiempos de espera o imposibilidad de toma de lecturas en condominios, porque es usual que no haya nadie que los atienda para permitirles el paso. Por lo que se recomienda trabajar en este artículo para hacer valer el derecho de los lectores a acceder a los hidrómetros dentro de regímenes de condominios o, en dado caso, poder hacer una facturación con multa.

Si se llega a realizar una programación de rutas, esto se puede comunicar a la administración de los condominios para que con antelación conozcan la fecha usual que se presenta el lector a realizar los registros de consumo mensuales.

**Artículo 60.** En el inciso 12) al abonado se le prohíbe cubrir el hidrómetro con tierra, escombros, desechos, arena, piedra o cualquier otro material que no permita que el mismo sea leído. En este caso se le aplicará el promedio de los últimos seis meses más un 50% adicional.

Por tanto, se logra recapitular una serie de aspectos que deben estar a mano de los lectores con el fin de atender anomalías, y disminuir las restricciones que generan detenciones en los flujos de trabajo y perjudican la labor.

## Normativa nacional

En el ámbito nacional, se identifica que la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) es la institución encargada, por la Ley 7593, de la regulación y del control de la prestación de los servicios públicos en Costa

Rica. Por tanto, se debe cumplir con la norma AR-HSA2008 “Hidrómetros para el servicio de Acueducto”, la cual define una norma técnica que establece los lineamientos en hidrómetros para el proceso de micromedición.

Micromedición es definido por la ARESEP (2008) como el conjunto de acciones que permiten conocer sistemáticamente el volumen de agua consumido por los abonados, lo que garantiza que el consumo se realice dentro de los patrones establecidos y que el cobro por los servicios prestados sea ajustado al consumo real. En la misma se incluyen tareas de: selección, adquisición, instalación, lectura y mantenimiento, además de los mecanismos de administración. Cabe mencionar que, según el artículo 4, la misma es de obligatoriedad para todos los prestadores del servicio de acueducto regulados por la Autoridad Reguladora. Los prestadores no podrán reinstalar hidrómetros, sin antes verificar que cumple con esta norma técnica, salvo los que se retiren de operación por corte del servicio.

La ARESEP (2008) describe que dicha norma tiene como objetivo:

- Establecer las especificaciones técnicas mínimas aceptables para los hidrómetros, su dimensionamiento, ubicación, instalación, protección, mantenimiento y adquisición.
- Definir y describir las condiciones técnicas bajo las cuales se desarrollará la actividad de la medición y registro de los consumos de agua potable.
- Establecer las condiciones técnicas para las pruebas o ensayos, calibración y mantenimiento de los hidrómetros.
- Establecer los criterios de regulación de los sistemas de medición.

La misma cuenta con varios capítulos, donde, de importancia para la realización de este proyecto, la ARESEP (2008) establece lo siguiente:

El prestador del servicio será responsable de adquirir e instalar el sistema de medición en todas las conexiones de agua potable (Art.11) y están obligados a mantener en buen estado de funcionamiento todos los componentes del sistema de medición (Art. 13).

La Municipalidad como prestador del servicio debe asegurarse que la caja de protección de hidrómetros cuente con un sistema de drenaje adecuado que evite su inundación (Art. 35, d).

La Municipalidad, como prestador del servicio, debe efectuar el mantenimiento correctivo y preventivo de todo el sistema de medición: hidrómetros, caja de protección, válvulas, accesorios y conexiones (Art. 36), incluyendo tareas como su sustitución cuando alguno no cumpla la norma técnica, mantenimiento de las cajas de protección, de tal manera que permitan la lectura, la eliminación de fugas en las conexiones.

La Municipalidad debe establecer un catastro de hidrómetros que se tenga a disposición del público en general y de la Autoridad Reguladora con objetivo de mantener un registro de los datos técnicos de cada hidrómetro, su localización y las intervenciones de mantenimiento (Art. 40); así como información mínima de a. Fabricante. b. Modelo. c. Tipo. d. Clase metrológica (Calidad de la medición). e. Número de serie. f. Caudal permanente o nominal. g. Diámetro. h. Número de expediente del proceso de adquisición. (Art 41) y aspectos sobre la instalación de este, como fechas y lecturas (Art. 42)

Se identifica que el acueducto no está cumpliendo con tener un Catastro de Hidrómetros, debido a un deficiente registro de inventario, por lo que, para realizar el levantamiento de este, se define que esta es la información que debe incluirse en la base de datos que debería existir tanto de los medidores instalados como los que se encuentran en bodega. A partir de esta información, se generan los formularios técnicos descritos en la sección de resultados y mostrados en el apéndice 2.4 y apéndice 2.5, los cuales se recomienda comenzar a utilizar de inmediato para detener la fuga de información al respecto sobre estos activos del departamento.

## Acercamiento al personal

Bajo los mismos principios abordados en el Marco teórico, de igual forma que para el proceso de aforo, sobre la importancia de incluir a los responsables de la ejecución del procedimiento en la mejora del mismo y para el entendimiento propio del ambiente en que se desarrolla el proceso, se realizan las entrevistas a cada lector, que se muestran en el Apéndice 5.4, 5.5 y 5.6. A través de estas, se logran identificar aspectos a los cuales se les debe poner atención durante los

recorridos de inspección, además del reporte de posibles áreas de mejora en el proceso, desde el punto de vista del ejecutor del mismo.

## Diagnóstico de equipo

### Colector de datos

Hasta hace unos 4 años, los consumos se registraban por medios escritos, a través del uso de un portafolio con boletas para cada medidor, como se muestra en la figura 35. Esto, a pesar de identificarse fácilmente como algo bastante ineficiente, sigue representando un desperdicio para el acueducto, ya que en la actualidad dichos datos, al no estar introducidos en el sistema, se deben tener a mano, ya que se siguen resolviendo situaciones con respecto a reclamos con una considerable antigüedad.



**Figura 35.** Recolector escrito de datos utilizado para el registro de consumos. Fuente: fotografía propia.

Posterior a las libretas, se introdujo un *hardware* recolector de datos, sin embargo, la municipalidad desea la implementación de un nuevo equipo, por lo que se identifican necesidades de alcance de este equipo a partir de las deficiencias presentadas a través del recolector anterior, mostrado en la figura 36.



**Figura 36.** Recolector de datos digital actualmente utilizado. Fuente: fotografía propia.



**Figura 37.** Interfaz del recolector de datos digital actualmente utilizado. Fuente: fotografía propia.

Este cuenta con una interfaz mostrada en la figura 37. En esta es posible seleccionar la ruta, la cual tiene guardados los hidrómetros en su orden secuencial, además, muestra información como el abonado registrado, así como el registro de consumo anterior y un espacio donde se ingresa el nuevo consumo. Una vez ingresado el dato, se le debe dar *enter* para pasar al siguiente hidrómetro, sin embargo, en caso de no poder registrar la lectura, se debe ingresar en “problema”, donde se debe justificar la razón.

Durante las observaciones en campo, se identificó que esto no es realizado por todos los lectores, y en su lugar algunos de ellos ingresan el dato del consumo anterior, toman una foto con su teléfono celular, para posteriormente analizar el caso en la oficina. Sin embargo, esto tampoco

es realizado por la totalidad de los lectores. Es decir, tienen un proceder para reporte de anomalías que varía entre ellos, no acorde a los respectivos artículos del reglamento interno.

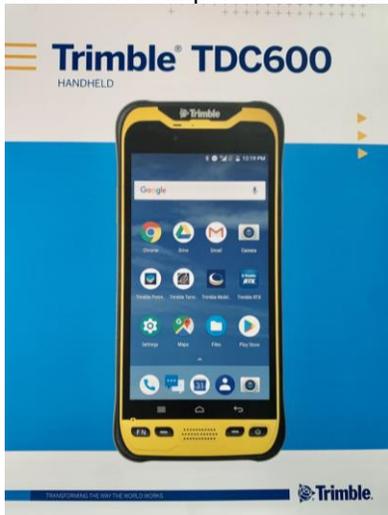
También se identificó que una deficiencia considerable es que no permite localizar los hidrómetros, ya que en campo dicha identificación se realiza dependiendo si el consumo que registra es cercano al consumo anterior registrado. Esto, a través de una ubicación georreferenciada, permitirá conocer la localización de los hidrómetros y se podría eliminar que estos muestren el consumo anterior, para evitar que se den las estimaciones por parte de los lectores, lo que según la Comisión de Mejora se quiere evitar.

Dentro de las recomendaciones para el nuevo equipo según las necesidades identificadas, se encuentran:

- El recolector debe incluir la forma de localizar geográficamente los hidrómetros por medio de su número de contribuyente para la introducción del dato y la asistencia por inspección.
- El equipo solo debe permitir el registro de la lectura cuando la locación del lector sea cercana a la del hidrómetro.
- Es de suma relevancia que el recolector tenga la posibilidad de introducir fotografías, ya que, a través de las inspecciones, se logró constatar que se dan situaciones atípicas que mediante el uso de fotografías pueden ser evidenciadas para justificar la imposibilidad de toma de una lectura y como referencia a comunicaciones a la supervisión.
- No se debe permitir el acceso de los lectores a los registros anteriores, para evitar la estimación de lecturas indicada por la auditoría como vicio en el proceso.
- El colector debe emitir una alarma en los casos que se registre una lectura menor a la anterior.

La Municipalidad se encarga de la generación del cartel al geógrafo, quien es el administrador de los sistemas de información geográficos de otros departamentos; y los mismos son entregados en enero de 2021. El colector corresponde al modelo TDC600, de la marca Trimble, mostrado en la figura 38. El mismo funciona a través del sistema

operativo de Android, permite cargar un catastro de hidrómetros para que los lectores registren las lecturas y sus movimientos; con el fin de que, cuando obtenga conexión a internet, suba los datos a una nube almacenando suficiente información como herramienta para la supervisión de esta tarea. Además, permite la identificación de hidrómetros con precisión de hasta 1 a 3 metros y tiene integrada una cámara de 13 megapíxeles. Por lo que la sustitución de equipo viene a solucionar variedad de las necesidades más importantes identificadas.



**Figura 38.** Nuevo colector de datos adquirido por el acueducto. Fuente: fotografía propia.

Al momento de conclusión de este proyecto, aún no ha sido posible comenzar a ejecutar las lecturas con la utilización del nuevo equipo. Debido a que realizó la inducción, pero no fue exitosa, ya que se identifican necesidades que no habían sido cubiertas del mismo al requerir conexión a internet.

## Hidrómetros

En cuanto al instrumento que registra los consumos, los hidrómetros, se encuentran instalados en la red municipal. Sin embargo, a través de la investigación y las observaciones realizadas, se logra determinar que hay un incumplimiento con la Norma Técnica: Hidrómetros para el Servicio del Acueducto AR-HSA2008. Esto ya que el acueducto no presta el mantenimiento preventivo (Art. 36), no cuenta con

un catastro de hidrómetros con la información requerida (Art. 40, 41 y 42) y deben tener el certificado de calidad internacional INTE ISO IEC de un Laboratorio de Hidrómetros acreditado ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA).

Es necesario contar con un Catastro de Hidrómetros para poder generar un Plan de Mantenimiento Preventivo, por lo que se deben realizar las modificaciones en el proceso de salida de bodega de estos lo más pronto posible, para evitar que continúe fugándose tanta información requerida.

Además, cabe resaltar que se identifica una situación con respecto a desperdicios por sobre inventario, que podría significar la oportunidad de mejora más importante dentro de todo el desarrollo de este proyecto, para mejorar la productividad del acueducto.

El 27 de octubre del 2020 se dio un ingreso de 700 hidrómetros junto con sus respectivos juegos de accesorios y cajas de protección (Figura 39). Estos fueron facturados por un monto de casi 32 millones de colones, como se presenta en la factura electrónica mostrada en el anexo 6. Esto da un valor unitario de 45 630 por cada hidrómetro adquirido.



**Figura 39.** Evidencia de llegada del paquete de 700 hidrómetros. Fuente: fotografía propia.

Se logra detectar que, en dicha fecha, al llegar 700 unidades, había 38 hidrómetros en bodega, por lo que se incrementó el inventario a 738 unidades. A la fecha de conclusión del proyecto quedaban 488 unidades, ya que se utilizaron 250 hidrómetros distribuidos en un total de 32 pajas nuevas aprobadas con servicio medido y 218 para sustitución de hidrómetros en mal estado.

Sin embargo, según los resultados del recorrido de lectura, puede que alrededor de

1162 hidrómetros se encuentren detenidos; lo que significa que se debe hacer un mayor esfuerzo; claro está que en bodega hay una cantidad considerable de hidrómetros que se pueden utilizar, aunque los lectores manifiestan no se les aprueba el cambio para guardarlos para pajas nuevas, pero con la cantidad que hay en bodega esto no tiene por qué ser un impedimento. Fácilmente se podría programar realizar la sustitución de 350 de los mismos y dejar 138 para nuevas solicitudes por el servicio,

Además, al representar la posibilidad de generar cobros por la prestación del servicio, se sugiere al acueducto solicitar a la alcaldía presupuestar mayores recursos para la compra de hidrómetros. Ya que es una inversión que se recupera relativamente sencillo, porque se generan mayores ingresos por los cobros que se realizan por tarifa mínima o que no se están facturando, además de disminuir el consumo de recursos por solicitud de inspecciones por anomalías con los mismos. Esto representa un desperdicio porque el lector debe abrir cada una de las cajas de protección y en muchos casos no generar ningún tipo de valor.

## Llave de caja de protección

Además, para cumplir con las tareas requeridas, se debe hacer parte del equipo de uso diario, la llave que permite la apertura de la caja de hidrómetros, la cual es única para este fin, y se muestra en la figura 40. Si el lector olvida esta herramienta, se puede volver más lenta la apertura de las tapas de protección y, por tanto, la labor en general.



**Figura 40.** Llave de apertura de caja de protección de hidrómetros. Fuente: fotografía propia.

## Registro en bitácora

Únicamente se identifica necesario generar los formularios técnicos con el fin de recopilar la información para el levantamiento de inventario para el Catastro de Hidrómetros, como especifica el artículo 40 de la normativa descrita de ARESEP. Con las características requeridas según los artículos 41 y 42.

Se sugiere girar la orden para que se implemente con todos los nuevos hidrómetros en bodega, a partir de las fichas técnicas de entrada de un lote de hidrómetros, la generación de la información sobre las especificaciones incluidas en la generación del Formulario Técnico de Ingreso de Lote de Hidrómetros mostrado en el apéndice 2.4 y el Formulario Técnico de Catastro de Hidrómetros del Apéndice 2.5.

## Restricciones al flujo de valor

A partir de los resultados obtenidos a través de los recorridos por las diferentes rutas, se tiene que los hidrómetros detenidos corresponden a una estimación del 10,8% del total de hidrómetros, valor que se acerca bastante al dato según Alvarado (2020): “Se estima que de todos los hidrómetros un 11,8% están detenidos”, mientras que este dato según la auditoría es de un 16,8%. Sin embargo, este último es obtenido a partir de la información de la base de datos y ha sido previamente identificado por la auditoría y el personal del departamento que existe un problema informático sobre una cantidad de abonados que fueron duplicados en el sistema de información y se están contabilizando; además de que ya se han ido sustituyendo algunos hidrómetros con la última compra, por lo que este valor tiene sentido que sea mayor al obtenido a través del muestreo y el dato que estima la supervisión de lectores.

Por tanto, es observable que al menos uno de cada 10 hidrómetros está detenido, lo que significa un 10% de posibles ingresos no generados o no aprovechados. Se recomienda realizar una programación para una sustitución colectiva por sectores y mejorar dicha situación, la ventaja económica es innegable; ya que la situación que se presenta con los hidrómetros que ya cumplieron su vida útil o están dañados y significa el mayor desperdicio, ya que no se contabiliza el agua y se está prestando un

servicio por el que no se puede cobrar, entonces el lector ejecuta un proceso defectuoso.

A pesar de esto, por la situación de la pandemia parte de estos es posible que no se encuentren en mal estado, sino que por las características de la época se trate de lugares de alquiler desocupados, por lo que, previo a solicitar un cambio, se genera la necesidad de verificar que el lugar está habitado.

Por tanto, desde noviembre de 2020, se están levantando listas de los hidrómetros que deben ser sustituidos, sin embargo, ha avanzado muy lentamente, por lo que se requiere de mayores esfuerzos de organización, ya que recurso humano sí está disponible. Los lectores manifiestan acumular solicitudes porque no se les aprueba el cambio debido a que se está guardando inventario para solicitudes de pajas nuevas. Contrariamente se recomienda generar un programa para la sustitución de los requeridos y aprovechar que se les puede encargar dicha tarea, ya que se encuentran dentro del Manual de Perfiles de Puestos, para solicitar recursos y se realice la adquisición de nuevos hidrómetros.

Lo que se recomienda es que, en lugar de continuar la opción de instalar los hidrómetros en el distrito de Cachí, se intervenga con prontitud los hidrómetros faltantes o dañados en los distritos de Paraíso y Llanos de Santa Lucía. Esto porque, para cobrar el servicio medido en Cachí, posiblemente se tendría que introducir más personal, además de que se debe contemplar un mayor consumo de recursos de tiempo y transporte, lo cual no es una realidad posible para el departamento. Mientras que, por otro lado, donde ya se tienen asignados los recursos, en grandes cantidades no se completa el flujo de valor y contrariamente estos casos generan desperdicios, disminuyendo los ingresos por el servicio.

Posteriormente, con respecto a las situaciones en donde se puede atribuir la restricción de registro al abonado, a partir del nuevo colector se podrá evidenciar, por medio de una fotografía; por lo que se simplifica el proceso para la facturación de estos casos.

Por otro lado, como se evidencia en los resultados, y como se confirma con la jefatura, hay otro incumplimiento con el artículo 36 de la normativa de ARESEP, relacionado al mantenimiento de los hidrómetros, ya que no se ha efectuado mantenimiento en mucho tiempo y no existe ningún tipo de programación de este.

Para este caso, se recomienda girar instrucción a los lectores y su supervisión, de implementar mecanismos de limpieza de mantenimiento preventivo sobre los hidrómetros, pues es una labor que viene incluida en el Manual de Perfiles de Puestos y se ha identificado como una obligación del acueducto que se está incumpliendo.

Además, se identifica como requerido que los lectores dejen cargados sus colectores de datos los días previos a salir a registrar consumos, y el vehículo con gasolina. Esto para evitar retrasos en la salida a campo, partiendo del hecho de que es más ventajoso que salgan a la recolección de lecturas a primera hora y no se rompa una posible coordinación del vehículo.

También, se deben controlar los tiempos de entrada y los tiempos de desayuno de los lectores, pues se identificaron retrasos considerables hasta por una hora para la ejecución de sus labores, lo cual es contraproducente para el desarrollo de los procesos.

## Manuales de procedimiento

De esta forma, mediante todas las observaciones anteriormente abordadas de caracterización del proceso, así como los resultados del recorrido de inspección, se genera el manual con los procedimientos descritos en los resultados, donde, de igual forma, se definen los objetivos conociendo el fin de los métodos, y el alcance a través de la identificación de los lugares donde es posible registrar los consumos debido a la existencia de hidrómetros en la red; mientras que las responsabilidades se determinan según las funciones de los ejecutores del proceso.

Para el diseño del procedimiento de lectura, al no estar normado, sino que debe establecerse propiamente de acuerdo con las necesidades y limitaciones del departamento, se debe tener claro que se realiza en dos posibles situaciones. Primeramente, para el habitual registro de consumo hídrico realizado para efectuar el cobro por el suministro de este según su gasto. Este se realiza con una frecuencia mensual, a lo largo de las últimas 2 semanas del mes, donde usualmente se dispone de las mañanas para realizar las tareas. Dichas rutas se siguen en un orden secuencial para completar todos los datos, donde se define un inicio y un fin;

y estas deben programarse para ser cubiertas por los lectores disponibles en el tiempo determinado.

Existe otro motivo por el cual se debe ejecutar una lectura de consumo, el cual ocurre cuando es solicitada una inspección, esta puede ser por diversos motivos, entre ellos por solicitud de Plataforma de Cobros, por reportes de correo electrónico o llamadas sobre altos consumos, por solicitud de cambio de medidor, cambio de modo de cobro o reportes de fugas. A este procedimiento se le deben agregar otra serie de pasos, pero respecto al registro lectura el proceder es el mismo.

Previo a acudir al sitio de lectura, para el primer caso, debe conocerse por medio del número de ruta, mientras que, para el segundo caso, el lugar debe ser corroborado por medio del número de hidrómetro en el colector de datos.

Además, en el mismo, la resolución de casos en los que se presentan restricciones al flujo de valor debe registrarse y evidenciarse en el colector; y posteriormente se obtienen sus resoluciones en la oficina. Esto último con el fin de disminuir las posibilidades de error que están generando un mayor trabajo y consumo de recursos en su resolución mediante inspecciones. Se deberán hacer las estimaciones de lectura según el caso, lo cual, a su vez, presenta una oportunidad de mejora muy amplia, mediante la automatización de resolución de casos con desenlace repetitivo.

De esta forma, para cualquiera que sea el motivo de lectura, se genera un procedimiento identificando los pasos, aplicable a ambos casos y normando el acceso al medidor y el registro del

dato, así como incluyendo los aspectos para la generación del inventario de hidrómetros.

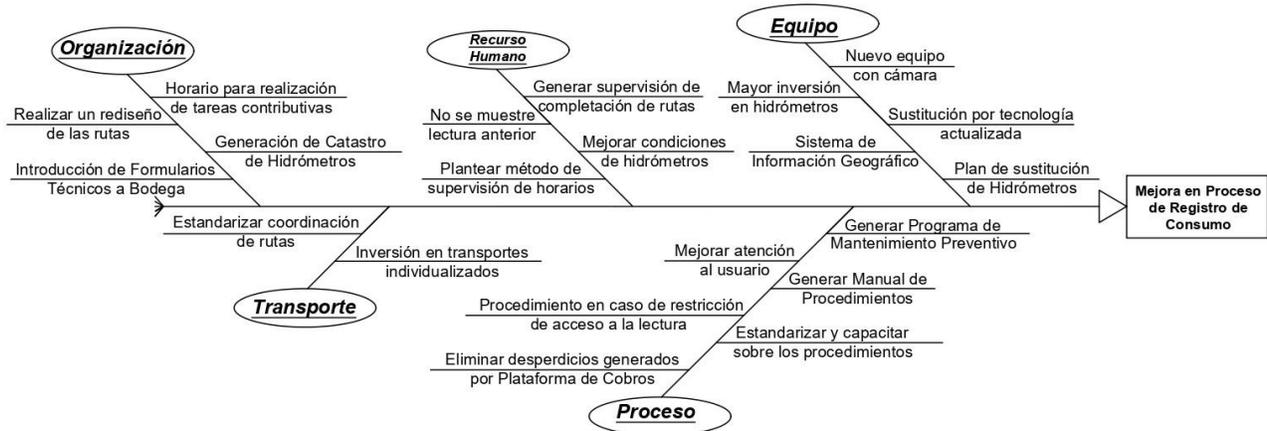
Así, de igual forma que con los procedimientos de aforo, durante toda la intervención del proceso se procura reducir las actividades que no aportan valor, es decir, los desperdicios; disminuyendo los tiempos de espera. Esto, junto a una reducción en la variabilidad e incremento de la transparencia de los procesos mediante la estandarización de los procedimientos, la generación de los formularios técnicos y la introducción de la nueva herramienta tecnológica. Generando con estas acciones una simplificación de los procesos y una reducción en los tiempos de ciclo.

Es decir, aplicando la mayoría de los principios de Lean Construction, se genera un proceso más productivo y sencillo de supervisar, produciendo una mejora directa en el consumo de recursos y más importante aún, en la captación de ingresos.

## **Diagrama de Ishikawa de sugerencias para restricciones al proceso de registro de consumos**

Al igual que con el proceso de aforo, se muestran gráficamente los aspectos abordados tanto de acciones implementadas como las que quedan como sugerencias, con el fin de resumir las mismas en un diagrama de Ishikawa, mostrado en la figura 41.

## Diagrama de Ishikawa Acciones y Sugerencias para Mejora al Proceso de Registro de Consumo



**Figura 41.** Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto) generado a partir de las sugerencias sobre las restricciones identificadas en el proceso de lectura. Fuente: elaboración propia a través de AutoCAD.

# Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

- Se desarrollaron tres manuales técnicos de procedimientos que incluyen cinco formularios técnicos complementarios, con el fin de estandarizar los procesos y satisfacer las necesidades de mejora de recolección de datos, su supervisión y transparencia.
- Se implementan o sugieren una serie de modificaciones en los procedimientos para la mejora de estos según normativas correspondientes, además de incluirse entregables como el cronograma de aforo o los diagramas de situación de los procesos.
- Se concluye que el mayor problema en caso del aforo de nacientes corresponde a la falta de sistemas que permitan ejecutar el proceso con buenas prácticas, mientras que, en el caso de registro de consumos, corresponde a la cantidad de hidrómetros detenidos en cero, por lo que representan las áreas más importantes de mejora a mediano plazo.
- Se observa que, en ambos procedimientos, el cambio de equipo representa una de las mejoras más sustanciales, ya que, en caso de los aforos, permite una generación de datos más confiables, debido a que los utilizados en la actualidad distan de ser adecuados y en especial, en el registro de consumos, porque con su introducción se satisfacen simultáneamente varias de las necesidades descritas.
- Se determina que los lectores no siguen un mismo proceder al detectar casos con anomalías debido a la no existencia del manual de procedimientos, a pesar de sí estar normado en el Reglamento para la Operación del Acueducto; lo cual afecta

directamente a la cantidad de reclamos por altos consumos.

- Se identifica que el acueducto incumple con la reglamentación nacional de ARESEP sobre la regulación de la prestación del servicio en aspectos relacionados al estado y catastro de hidrómetros, lo cual, además de que debe cumplirse por ley, no permite tener un control sobre estos activos.

## Recomendaciones

- Se recomienda ampliar el muestreo del levantamiento de situación de hidrómetros, para que el acueducto pueda contar con información más certera acerca de la situación real de los hidrómetros del acueducto.
- Se recomienda a la Municipalidad de Paraíso, compartir los manuales generados en este proyecto; ya que sirven como base para la adaptación de manuales de procedimientos de otras municipalidades.
- Se sugiere a la Municipalidad de Paraíso la instalación de un sistema de Internet vía Wi-Fi en el plantel municipal, ya que se identifica como una restricción y causal de desperdicios no solo para el desarrollo de los procesos abordados en este proyecto, sino de forma general para el funcionamiento del acueducto. Los colaboradores que deben utilizar el servicio para alguna diligencia dentro de sus funciones deben recurrir al uso de datos móviles personales asumiendo el costo, además de generar más pasos para el ingreso de alguna documentación o similar.
- Se recomienda a la municipalidad que, al aceptar el aporte de un estudiante en práctica profesional o proyecto de graduación, se vuelve beneficiosa una introducción del estudiante al personal que labora en el departamento, así como de sus instalaciones.

# Apéndices

Apéndice 1.1 Manual Técnico de Aforo por Método Volumétrico

Apéndice 1.2 Manual Técnico de Aforo por Método del Molinete

Apéndice 1.3 Manual Técnico de Registro de Consumos a través de Hidrómetros

Apéndice 2.1 Propuesta de Formulario Técnico para Aforo Volumétrico

Apéndice 2.2 Propuesta de Formulario Técnico de Requisición de Mantenimiento en Nacientes

Apéndice 2.3 Propuesta de Formulario Técnico para Aforo con Molinete

Apéndice 2.4 Propuesta de nuevo Formulario Técnico para Ingreso de Hidrómetros a Bodega

Apéndice 2.5 Propuesta de nuevo Formulario Técnico para Catastro de Hidrómetros

Apéndice 3 Propuesta de Hoja de Cálculo para Aforo Volumétrico

Apéndice 4.1 Hoja de Observación utilizada para las anotaciones sobre Proceso de Aforo

Apéndice 4.2 Hoja de Observación utilizada para las anotaciones sobre Proceso de Lectura

Apéndice 5.1 Reuniones con la Comisión de Mejora del Acueducto

Apéndice 5.2 Entrevista a ingeniero supervisor de Aforo

Apéndice 5.3 Entrevista a funcionarios encargados de Aforo

Apéndice 5.4 Reunión con los lectores de hidrómetros

Apéndice 5.5 Entrevista a supervisión de lectores

Apéndice 5.6 Entrevista a lectores de hidrómetros

Apéndice 6.1 Ubicación geográfica de las nacientes de agua - Sector Norte

Apéndice 6.2. Ubicación geográfica de las nacientes de agua - Sector Sur

Apéndice 6.3. Ubicación geográfica de las nacientes de agua - Sector Sur



Departamento de Acueducto de la Municipalidad de Paraíso

## Determinación de Caudal de Fuentes de Agua a través del Aforo por Método Volumétrico (XX-01)

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha entrada en vigencia:
Andrés Arias Barahona	Julio Varela Brenes	Ing. Juan Carlos Porras	

## **1. Objetivo**

Obtener los datos de producción hídrica en fuentes donde aplica el método, bajo buenas prácticas y según la normativa referente, para la generación periódica de datos confiables en la gestión del servicio

## **2. Resumen**

Este método cubre la determinación del caudal (Litros/Segundo) mediante la medición del tiempo que tarda el llenado por completo de un recipiente de control, el mismo se realiza en las nacientes de agua y pozos de absorción de uso de la municipalidad para el suministro de este recurso a la comunidad. Es utilizado el método definido como Aforo Volumétrico

## **3. Alcance**

Este método está diseñado para ser usado únicamente en nacientes con caudales pequeños y con posibilidad de ser direccionados, los cuales son medibles por medio del método volumétrico ya que cuentan con un sistema idóneo de aforo como el mostrado en la figura 4 y 5 (En este proyecto). Sin embargo, también puede ser aplicado en pozos donde sea posible realizar una instalación que dé dichas características al caudal extraído.

## **4. Responsabilidades**

La implementación de este instructivo técnico es responsabilidad de los funcionarios técnicos del Acueducto Municipal, quienes a su vez están encargados de capacitar a sus colaboradores encargados de dichas tareas para el seguimiento y entendimiento a totalidad del mismo.

## **5. Documentos de Referencia**

- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE, 2004). Manual de Dotaciones de Agua para Calcular las Necesidades de las Solicitudes de Aprovechamiento
- Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008). Guía de Prácticas Hidrológicas
- Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2010). Manual de medición de corrientes

## 6. Definiciones:

Acueducto, Dotación de Agua, Caudal, Aforo, Naciente de Agua, Pozo de Agua, Aforo Volumétrico, Volumen de Control (Incluidas en el Marco Teórico)

## 7. Equipo

**Volumen de control.** Se utilizan volúmenes conocidos propiedad de la municipalidad cuyo uso es específico para esta tarea. Los mismos tienen contenidos de 5L, 10L, 25L y 60L, mostrados en la ficha técnica del Anexo 2 con una abertura que se hará en la parte superior. La selección del mismo, se recomienda que se utilicen recipientes que permitan tiempos de al menos 10 segundos, ya que entre mayor sea el tiempo de llenado, mayor la precisión en los datos

Calibración: El recipiente debe ser calibrado de dos formas, primeramente, agregando agua por incrementos conocidos con ayuda de un beaker en donde se observan y cuantifican dichos incrementos. El Departamento debe realizar la compra de un beaker que permita la verificación de los instrumentos por lo menos una vez cada 6 meses

**Cronómetro Digital.** Son empleados cronómetros digitales con resolución de hasta centésimas de segundo, ( $00'00''00 \pm 0,01s$ ), también propiedad de la municipalidad y utilizados únicamente para este fin. No se permite el uso de relojes analógicos ni cronómetros de celular. La calibración del mismo, no se realiza por parte de la municipalidad, debido a su complejidad.

## 8. Programación y preparación de la tarea

Previo al día en que se efectuarán las obtenciones de aforo, se establece que debe indicarse a qué fuente se asistirá a realizar las mediciones, para que pueda contemplarse la siguiente información de valor:

8.1. Localizar geográficamente la fuente a aforar y estimar el tiempo de traslado al sitio a partir de la información de recolectada

8.2. Verificar la disponibilidad de cuadrilla

8.3. Revisar el pronóstico del tiempo, como prevención de condiciones climáticas atípicas de peso que influyan en una variación del aforo a realizar o genere peligros para el personal en el trayecto

8.4 Preparar el equipo indicado en este manual junto al Formulario Técnico para Aforo Volumétrico mostrado en el Apéndice 2.1, en donde se anotarán las lecturas efectuadas, ya que, de otra forma, se vuelve imposible la ejecución del procedimiento y el registro del mismo

(\*) En caso de los pozos se puede obviar el paso 3, pero se debe tener presente que se debe dar hasta 24 horas de tiempo para que el flujo se estabilice, por lo que se tiene que realizar esto previo al día de aforo

## **9. Procedimiento**

9.1. Trasladarse al sitio y localizar el punto específico de aforo

9.2. El trabajador A debe iniciar las anotaciones generales del Formulario Técnico, o en su efecto en el colector de datos, el trabajador B debe preparar el equipo y seleccionar el recipiente para aforo según el criterio establecido de permitir lecturas de al menos 10 segundos para un 2% de error

Esto último al aplicar el método las primeras veces se deberá verificar o en su caso repetir el proceso, pero con la repetición de la tarea los aforadores aprenden a identificar el recipiente apropiado

9.3. El colaborador A debe abrir la válvula de paso de captación al máximo, cerrar la válvula 1, y abrir la válvula 2, para desviar el flujo del agua y se debe dar un tiempo prudente a que el flujo se estabilice, lo cual se denota visualmente y se debe confirmar en el formulario técnico.

(\*) En caso de los aforos realizados en pozos, la estabilización puede tardar incluso horas, posterior a ello se debe anotar la presión registrada de forma informativa

9.4. El colaborador B debe de colocarse contiguo a la fuente preparándose para el llenado del volumen y el colaborador A para iniciar la toma de tiempo con el cronómetro digital, verificando el mismo se encuentra en cero.

9.5. El colaborador B debe colocar el volumen de control verticalmente por debajo de la salida de agua, mientras que simultáneamente el colaborador A inicia con la toma del tiempo hasta que esta se llena por completo, dónde debe detener el cronómetro.

9.6. El colaborador A debe anotar el tiempo resultante en el Formulario Técnico o colector de datos

9.7. Se debe repetir en cinco veces los pasos 4, 5 y 6, hasta que sea posible completar el cuadro de anotación.

9.8. Finalmente, mientras que el colaborador B recoge el equipo, el colaborador A debe verificar nuevamente que se hayan completado todos los datos y debe cerrar la válvula de paso, previo a dejar el sitio.

## 10. Cálculos

10.1. A partir de los datos obtenidos de campo, se debe de presentar el Formulario Técnico para Aforo Volumétrico y Formulario Técnico para Inspección de Mantenimiento en Nacientes.

10.2. Los datos del formulario técnico correspondientes a los tiempos obtenidos y número de recipiente utilizado a la Hoja de Cálculo diseñada para este fin, la cual debe estar programada para que automatizada mente genere el promedio de tiempos resultantes a partir de la siguiente fórmula:

$$\textit{Tiempo promedio} = \frac{\Sigma \textit{Tiempos}}{\textit{Cantidad de repeticiones efectuadas}}$$

10.3. A partir de este resultado y la numeración de recipiente correspondiente, también de forma automatizada la hoja de cálculo estima un caudal, utilizando la fórmula a continuación:

$$\textit{Caudal (L/s)} = \frac{\textit{Capacidad volumen conocido}}{\textit{Tiempo Promedio}}$$

## 11. Hoja cálculo

Los datos deben ser subidos a la Hoja de Cálculo de Estimación de Caudales, generada a través de Microsoft Excel, de donde se obtienen los resultados para que sean registrados en el histórico, cuya visualización, se muestra en el Apéndice 3

Solamente es necesario ingresar los datos que se encuentran en celdas amarillas correspondientes a los cinco datos de las duraciones de llenado de los volúmenes, el dato del número de recipiente y el porcentaje de desviación. Los recipientes cuentan con una numeración consecutiva por orden ascendente de capacidad volumétrica aplicando un Poka-Yoke que lo relaciona a su capacidad de forma automatizada.

También es parte, un sistema para la identificación automática de datos con una desviación mayor un porcentaje con respecto al promedio, establecido por la jefatura del acueducto. Esto muestra en rojo, qué datos se sugiere no contemplar en los cálculos. En caso de que la variación se dé en 3 datos o más, recomienda volver a realizar la medición.

Si se introduce colector de datos, los datos del Formulario Técnico de Aforo Volumétrico pasarían a ser introducidos en el equipo y posteriormente descargados en un formato de texto (.txt), para ser importados en la Hoja de Cálculo.



Departamento de Acueducto de la Municipalidad de Paraíso

## Determinación de Caudal de Fuentes de Método del Molinete (XX-02)

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha entrada en vigencia:
Andrés Arias Barahona	Ing. Denis Corrales Araya	Ing. Juan Carlos Porras	

## **1. Objetivo**

Obtener los datos de producción hídrica en fuentes donde aplica el método, bajo buenas prácticas y según la normativa referente, para la generación periódica de datos confiables en la gestión del servicio

## **2. Resumen**

Este método cubre la determinación del caudal (Litros/Segundo) mediante la determinación de las velocidades del flujo de agua a través de una sección transversal definida, mediante el uso de un Molinete. Se aplica en las fuentes de agua de uso de la municipalidad para el suministro de este recurso hídrico a la comunidad con las características propias para la aplicación de este método.

## **3. Alcance**

Este método está diseñado para ser usado únicamente en ríos o quebradas con las características específicas que más adelante se detallarán, las cuales son propias del Río Naranjo, La Minita y Trapiche, fuentes en específico para las cuales se plantea utilizar a mediano plazo este manual.

## **4. Responsabilidades**

La implementación de este instructivo técnico es responsabilidad de los funcionarios técnicos del Acueducto Municipal, quienes a su vez están encargados de capacitar a sus colaboradores encargados de dichas tareas para el seguimiento y entendimiento a totalidad del mismo. En este caso, el proceso se ejecuta en conjunto bajo dirección del ingeniero o la institución que realice el acompañamiento.

## **5. Documentos de Referencia**

- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE, 2004). Manual de Dotaciones de Agua para Calcular las Necesidades de las Solicitudes de Aprovechamiento
- Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008). Guía de Prácticas Hidrológicas
- Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2010). Manual de medición de corrientes

## 6. Definiciones:

Acueducto, Dotación de Agua, Caudal, Aforo, Río, Quebrada, Correntómetro o Molinete, Tirante Hidráulico, Área Transversal o Hidráulica (Incluidas en el Marco Teórico)

## 7. Equipo

**Cinta métrica.** Metalizada, Sencilla, común, propiedad de la municipalidad, con graduación de hasta 0,001m.

**Molinete o correntómetro.** Correntómetro universal con resolución de hasta 0,001 m/s y sin limitación para pequeños caudales. Modelo recomendado: F1 de SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG. El molinete puede ser usado instalado sobre una barra-soporte o bien suspendido de un cable trasbordador, y permite mediciones de 0,025 m/s hasta 10 m/s". Su ficha técnica, se adjunta en el Anexo 3.

**Estadia.** Regla graduada simple con resolución de hasta 0,01 m; en aluminio con nivelación telescópica y tintas resistentes a la corrosión. Modelo recomendado Site Pro E-métrico de 5 m; mostrada en el Anexo 4

## 8. Programación y preparación de la tarea

Tres días antes de que se efectúe el aforo, debe indicarse a los colaboradores que está programado efectuar la medición, para que pueda contemplarse la siguiente información de valor:

8.1. Localizar geográficamente el sitio y programar el traslado para efectuar la medición lo más temprano posible para reducir probabilidad de lluvias, especialmente en invierno

8.2. Verificar la disponibilidad de cuadrilla para realizar la tarea

8.3. Verificar el día previo a la medición, el pronóstico del tiempo para evitar acudir al sitio con condiciones atípicas que dificulten con peso el desarrollo del proceso o el trayecto al sitio de aforo

8.4 Preparar el equipo indicado en este manual junto al Formulario Técnico de Aforo por Molinete específico de esta tarea, el cual se adjunta en el Apéndice 2.3. Aquí, se anotarán las lecturas efectuadas, ya que, de otra forma, se vuelve imposible la ejecución del procedimiento y el registro del mismo

## **9. Procedimiento**

9.1. Trasladarse al sitio y localizar el punto específico de aforo

9.2. Identificar la sección transversal definida

9.3. En conjunto, ambos colaboradores deben hacer la verificación de que la sección transversal cumple con los requerimientos establecidos y en caso que presente anomalías no se debe desarrollar la medición o debidamente hacer la observación.

9.4. Medir con una cinta métrica el ancho del cauce de la corriente de agua

9.5. Se establecen las distancias de separación de los puntos de medición, recomendados a una separación de no más del 5% del ancho obtenido del cauce

9.6. Por medio del uso de la estadia y la cinta métrica se obtienen las profundidades y el ancho de la sección del área hidráulica a estimar

9.7. Introducir el Molinete en cada punto determinado para realizar la lectura de medición de velocidad

9.8. Repetir los pasos 4, 5 y 6 para las demás secciones del área hidráulica definida, hasta completar la totalidad de la misma.

## **10. Cálculos**

10.1. A partir de los datos obtenidos de campo, se debe de presentar el Formulario Técnico a la supervisión del Acueducto y se debe de firmar el recibido del documento.

10.3. Los datos del Formulario Técnico correspondientes a las velocidades registradas por el equipo según su respectivo punto de medición se deben utilizar para determinar un caudal  $q$  de la sección, según la fórmula 1

$$q = \left(\frac{v1 + v2}{2}\right)\left(\frac{d1 + d2}{2}\right) \times b$$

Fórmula 1. Fórmula para la estimación del caudal

Fuente: Organización Meteorológica Mundial

La OMM (2011) recomienda su resolución aritméticamente mediante el Método de la Sección Media, estableciendo que “Se considera que la sección transversal está dividida en varios segmentos limitados por dos verticales adyacentes siendo para estos  $v1$  y  $v2$  las velocidades medias verticales respectivamente, mientras que  $d1$  y  $d2$  las profundidades totales de cada una y por último  $b$  la distancia horizontal entre las mismas”.

10.3 El caudal resultante corresponde a la sumatoria de los caudales obtenidos en cada sección, valor que preferiblemente se recomienda resolver a través de una hoja de cálculo y la automatización de la fórmula anterior

10.4 El dato se debe de registrar el historial de medición de la fuente en ejecutada.



Departamento de Acueducto de la Municipalidad de Paraíso

## Determinación de Consumo Hídrico a través de Lectura de Hidrómetros (XX-03)

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha entrada en vigencia:
Andrés Arias Barahona	Lic. Adrián Alvarado Brenes	Ing. Juan Carlos Porras	

## **1. Objetivo**

Obtener los datos de consumo hídrico de los usuarios, cumpliendo con la normativa referente a la prestación del servicio, para la facturación del mismo y el registro de datos de confiables para la gestión del acueducto.

## **2. Resumen**

Este método cubre la determinación de los consumos de agua de los abonados a los que el Acueducto Municipal presta el servicio, a través del uso de Hidrómetros y su anotación en un recolector de datos. Además, incluye un apartado del procedimiento sugerido para permitir la salida de estos de bodega, así como un apartado para el levantamiento de inventario de los que se encuentran actualmente en funcionamiento según su estado.

## **3. Alcance**

Este aplica únicamente para los sectores que se encuentran con servicio de agua medido según los registros de la Municipalidad, correspondientes a los distritos de Paraíso, Llanos de Santa Lucía y Birrisito, sin embargo, a un mediano plazo se proyecta cambiar de tipo de cobro del distrito de Cachí, lo que lo haría pasar a estar dentro del alcance.

## **4. Responsabilidades**

La implementación de este instructivo técnico es responsabilidad de los funcionarios técnicos del Acueducto Municipal, quienes a su vez están encargados de capacitar a sus colaboradores encargados de dichas tareas para el seguimiento y entendimiento a totalidad del mismo.

## **5. Documentos de Referencia**

- Municipalidad de Paraíso (2020). Reglamento para la Operación y Administración del Acueducto de la Municipalidad
- Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (2008). Norma Técnica: Hidrómetros para el servicio de Acueducto (AR-HSA2008)

## 6. Definiciones

Consumo, Micromedición, Hidrómetro, Lector, Abonado o contribuyente, Alto Consumo, Colector de Datos, Capacidad hidráulica, Servicio Medido, Servicio Fijo (Incluidas en el Marco Teórico)

## 7. Equipo

**Hidrómetro.** Instrumento para el registro de consumo de agua instalado en la red municipal para tal fin, debe de cumplir con las especificaciones técnicas y de funcionamiento descritos en la norma técnica AR-HSA2008 y deben contar con la certificación de calidad internacional INTE ISO IEC de un Laboratorio de Hidrómetros acreditado ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA). El mismo debe de estar incluido en el Catastro de Hidrómetros del Acueducto con toda la información requerida, con salvedad de los casos con cierta antigüedad en los que no hay información disponible.

**Colector de Datos.** Equipo Trimble TDC600, utilizado para registrar toda la información que se recolecta en campo en tiempo real y georeferencialmente. Permite tomar fotografías entre otras funciones. Asignándose uno por lector

**Llave de caja de hidrómetros.** Llave de acero, con fin único de permitir el acceso al hidrómetro, propiedad del departamento y asignada permanentemente a cada lector

## 8. Procedimientos

### Lectura de Hidrómetros

Previo a acudir al sitio de lectura, para caso recorrido de lectura habitual, debe conocerse por medio del número de ruta, mientras que para el de inspección, el lugar debe ser corroborado por medio del número de hidrómetro en el colector de datos.

Para cualquier sea el motivo, el procedimiento que debe seguir el lector es el siguiente:

1. Trasladarse al sitio llevando consigo el colector de datos y la llave de caja de protección
2. Verificar que corresponde al sitio de lectura por medio del sistema de información geográfica
3. Seleccionar la ruta correspondiente, para que el colector despliegue la lista de hidrómetros o en caso de inspección localizar el medidor respectivo.
4. Abrir la caja de protección, con ayuda de la llave para este fin
5. Limpiar la carátula del hidrómetro
6. Realizar la lectura e ingresar el dato en el colector
7. Verificar que la lectura es correcta y dar enter para guardar el dato. Si el registro es exitoso, se continua en el paso 9
8. En caso contrario, indicar en la interfaz seleccionando la opción de restricción, y evidenciar con una o más fotografías.
9. Repetir el procedimiento de lectura con el siguiente hidrómetro en ruta, o en solicitud por inspeccionar.
10. Una vez que se termina la ruta o el ciclo de inspecciones, el lector continúa con la siguiente ruta o se dirige al plantel para resolver individualmente los casos con restricción de lectura, según indica el Reglamento para la Operación y Administración del Acueducto de la Municipalidad de Paraíso (2020) según los casos clasifiquen como el Art 34, 36, 37, 38, 39 o 41

### Levantamiento de Inventario de Hidrómetros

Para cumplir con la normativa de la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) AR-HSA2008 “Hidrómetros para el servicio de Acueducto”, en los artículos (Art 40, 41 y 42), previamente se debe seguir el siguiente procedimiento para generar la información requerida.

En el proceso de entrada bodega:

1. A partir de las fichas técnicas de entrada de un lote de hidrómetros, se debe completar el Formulario Técnico de Ingreso de Lote de Hidrómetros, mostrado en el Apéndice 2.4.

2. Se debe ingresar la información del Formulario Técnico de Ingreso de Lote de Hidrómetros al Sistema de Información de Catastro.

Con el colector de datos se debe de realizar el siguiente proceso por el lector para su ingreso en el catastro:

1. Acudir al sitio en que se encuentra el hidrómetro
2. Ingresar a la aplicación del Sistema de Información.
3. Agregar nuevo hidrómetro al sistema
4. Cargar la ubicación en el colector
5. Ingresar el número de hidrómetro
6. Ingresar estado actual del mismo y la lectura correspondiente, si el mismo lo permite
7. Dar enter para guardar el dato
8. Repetir el proceso en el siguiente hidrómetro

Posteriormente, en la oficina es requerido enlazar el número de hidrómetro con la información del abonado al que está inscrito el servicio, así como el resto de sus especificaciones técnicas disponibles, y se debe repetir el proceso hasta completar la totalidad de los mismos.

### Procedimiento de Salida de Bodega

El procedimiento que debe seguir su instalador, es el siguiente:

1. Identificar razón de requisición de nuevo medidor
2. Obtener aprobación de la jefatura del acueducto, por medio de la Boleta de Fontanería (Anexo 1)
3. Solicitar la Boleta de Requisición de Material (Anexo 7) y entregar en bodega
4. Recibir el hidrómetro y verificar que se está suministrando la cantidad y totalidad de accesorios indicados en la Boleta de Requisición de Material

5. Completar la información requerida por ARESEP del Formulario Técnico para Catastro de Hidrómetros, mostrado en el Apéndice 2.5, el cual debe de llenarse una vez entregados los hidrómetros en bodega,
6. Solicitar al supervisor ejecutar la modificación de la información disponible al Sistema de Catastro de Hidrómetros
7. Trasladarse al sitio y realizar el proceso para su ingreso geográfico en el sistema de información a través del colector
8. Ejecutar el procedimiento de instalación del hidrómetro

(\*) Posterior a ejecutar su instalación, en caso de sustitución se debe entregar el medidor antiguo a Bodega

Municipalidad de Paraíso  
 Departamento de Acueducto Municipal  
**FORMULARIO TÉCNICO DE AFORO VOLÚMETRICO**

Fuente:		Hora inicio:	
Fecha:		Hora final:	
Equipo : Recipiente de control, cronómetro digital y lapicero			
	Naciente 1	Naciente 2	Naciente 3
Volumen (N°)			
Estabilización de flujo	Verificado ( )	Verificado ( )	Verificado ( )
¿Aforo con éxito?	Sí ( ) No ( )	Sí ( ) No ( )	Sí ( ) No ( )
Lectura tiempos (segundos)			
T1			
T2			
T3			
T4			
T5			
Ejecución personal asignado: Sí ( ) Otro ( ) :			

Municipalidad de Paraíso  
 Departamento de Acueducto Municipal  
**FORMULARIO TÉCNICO DE REQUISICIÓN DE MANTENIMIENTO**

Inspección de Requerimiento de Mantenimiento			
Fuente:	Observador:		Fecha:
Tarea	Sí	No	Urgencia
			Descripción
Chapia			
Limpieza interna tanques			
Limpieza interna de captación			
Cepillado de tanques			
Barrido de Tanques			
Limpieza área verdes			
Revision de tapas y candados			
Limpieza de Rótulos			
Reparación de cercas			
Chapia de conducción			
Recorrido de conducción de naciente			

Municipalidad de Paraíso

Departamento de Acueducto Municipal

**FORMULARIO TÉCNICO PARA AFORO POR MÉTODO DEL MOLINETE**

Lugar:	Hora inicio				
Fecha:	Hora final				
Equipo : Molinete electrónico, estadia, cinta métrica, formulario y lapicero					
Sección Transversal:	Ancho total (m)				
Verificación de condiciones de sección transversal:			Sí	No	
Ubicación en tramo recto (Longitud mínima 6 veces el ancho)					
Cauce estable (Caudal no variable en un mismo punto)					
Se evitan secciones de velocidad nula o contra corriente					
Líneas de corriente paralelas entre sí y perpendiculares a la sección de aforo					
Sección de aforo libre de obstáculos y vegetación acuática					
El caudal de cada punto varía menos del 10% del caudal total					
Velocidad superior a 0,15 m/s y profundidad mayor a 30cm					
Punto	Distancia (cm)	Distancia al siguiente punto (cm)	Velocidades registradas (m/s)		
			P1	P2	P3
A					
B					
C					
D					
E					
F					
G					

Municipalidad de Paraíso  
Departamento de Acueducto Municipal  
**FORMULARIO TÉCNICO DE ENTRADA DE HIDRÓMETROS**

Información
Fecha de Entrada:
Fabricante:
Modelo:
Tipo:
Clase metrológica:
Número de serie:
Caudal permanente o nominal:
Diámetro:
N° de expediente de adquisición:
Fecha de adquisición:
Costo unitario:
Depreciación:
Vida Util:
Firma del funcionario responsable

Municipalidad de Paraíso  
Departamento de Acueducto Municipal

**FORMULARIO TÉCNICO CATASTRO DE HIDRÓMETROS**

Fecha de salida de bodega:	
N° Boleta de Requisición Material:	
Fecha de instalación:	
Número de hidrómetro:	
Cédula de abonado asignado:	
Número de boleta de trámite:	
Zona de ubicación del hidrómetro:	
Vida útil estimada:	
Verificación (Marcar casilla correspondiente)	
Se realiza Introducción de información al Sistema de Catastro	Sí ( ) No ( )
Se realiza introducción georeferenciada al Sistema de Catastro con Colector de Datos	Sí ( ) No ( )
Se realiza sustitución o instalación en campo	Sí ( ) No ( )
Se realiza inspección de funcionamiento	Sí ( ) No ( )
<b>Firma del funcionario responsable</b>	

Municipalidad de Paraíso			
Departamento de Acueducto Municipal			
<b>HOJA DE CÁLCULO DE AFORO VOLÚMETRICO</b>			
Lugar:		Fecha:	
Número de Recipiente	Naciente 1	Naciente 2	Naciente 3
	3	1	4
T1 (s)	13,23	5,89	5,84
T2 (s)	12,48	5,76	
T3 (s)	12,06	6,37	
T4 (s)	12	4,53	
T5 (s)	12,95	7,05	
Tiempo Promedio (s)	12,54	6,01	5,84
Volumen Control (L)	20,00	3,78	55,00

	Naciente 1	Naciente 2	Naciente 3
Promedios (s)	12,5	5,9	5,8
1	5,47%	0,51%	0,00%
2	0,51%	2,70%	100,00%
3	3,86%	7,60%	100,00%
4	4,34%	23,48%	100,00%
5	3,24%	19,09%	100,00%
Tiempos cuantificables	13,23	5,89	5,84
	12,48	5,76	0
	12,06	6,37	0
	12	0	0
	12,95	0	0
Datos eliminados	0	2	4
Datos promedio	5	3	1

Recipiente	Capacidad (L)
1	3,78
2	10,0
3	20,0
4	55,0
5	65,0

<b>Caudal (L/s)</b>	<b>1,59</b>	<b>0,63</b>	<b>9,42</b>
---------------------	-------------	-------------	-------------

Error Aceptable	10%
-----------------	-----

**HOJA DE OBSERVACIÓN AFOROS NACIENTES**

Observador: Andrés Arias Barahona			Hora entrada:		
Naciente:			Hora salida:		
Fecha:			Lugar de Salida:		
Identificación de Desperdicios - Descripción			Tiempo de traslado en vehículo:		
			Tiempo de traslado caminando:		
Revisión	Sí	No	Descripción		
¿Se logra hacer el aforo con éxito?					
¿Se dan interrupciones al Flujo de Valor?					
¿Se siguen las labores asignadas?					
¿Se identifican tiempos no contributivos?					
¿Se da tiempo de estabilización al flujo?					
¿Se identifica mantenimiento requerido?					
¿Existe coordinación entre colaboradores?					
Observaciones:					
<b>Requerimiento de Mantenimiento</b>					
Tarea	SÍ	NO	Tarea	SÍ	NO
Chapia			Revisión de tapas y candados		
Limpieza interna tanques			Limpieza de rótulos		
Limpieza interna de captación			Reparación de cercas		
Cepillado de tanques			Chapia de conducción		
Barrido de Tanques			Recorrido de conducción de nacimiento		
Limpieza área verdes			Otro:		



# Reuniones Comisión de Mejora del Acueducto

Los días 29 de septiembre, 6, 13 y 20 de octubre, se asiste a las reuniones de la Comisión de Seguimiento de Mejora del Acueducto, mediante las cuales se da un acercamiento al conocimiento de la situación actual del departamento. Dicha comisión está conformada por: Luis Diego Calderón, Vicealcalde de Paraíso; Danny Torres, Ingeniero en Construcción Supervisor de Proyectos del Acueducto Municipal; Grettel Ramirez de Administrativo y Financiero; José Martínez, representante del Departamento de Cobros y Maricela Rodríguez de Tecnologías de Información de la municipalidad. Se decide incluir a mi persona para el aporte en el análisis de las problemáticas presentes indicadas por medio de una auditoría, y el acompañamiento a el planteo de posibles acciones a tomar. Esto porque el objetivo de dicha comisión es determinar acciones para la mejora de la productividad de este departamento. Se identifican los aspectos relacionados con los puntos señalados en el informe de auditoría lo resumido a continuación, donde para cada uno, se identifica el riesgo señalado por la auditoría y se realizan anotaciones de relevancia en la búsqueda de abordar las problemáticas dentro del alcance del proyecto.

1. “Requerir a la Encargada del área Administrativo–Financiera, llevar a cabo en forma permanente verificaciones o estudios de campo para determinar lo que está sucediendo con cada uno de los hidrómetros que siguen reportando lecturas en cero, además, corroborar si el dato físico de consumo del hidrómetro que presenta ese patrón de consumo (cero) es igual al dato de lectura que se tiene en el sistema informático SIM. En otras palabras, verificar si las lecturas en los hidrómetros que reportan consumos de cero, es igual al dato de consumo contenido en la base de datos, además, hacer verificaciones periódicas para establecer si el consumo en cero se ajusta a un patrón normal de consumo del abonado (p.ej. casa o local deshabitado, etc.), o bien, si existe una situación anormal (p.ej. hidrómetros defectuosos y no reportados; omisiones de

lecturas; etc.), para efectos de tomar las medidas correctivas que ameriten”

Riesgo inherente: Alto

- Existe gran cantidad de hidrómetros que reportan consumo cero, determinado por la auditoría interna que se contabilizan de un total de 10591 abonados que se tenían a noviembre 2019, aproximadamente 1775, es decir un 16.76%, lo que significa una gran cantidad de consumos no medibles por los cuales la municipalidad deja de percibir ingresos
- Se debe analizar en el Manual de Perfiles de Puestos de la Municipalidad de Paraíso las consideraciones sobre estos puestos y las especificaciones sobre el reporte de anomalías
- Se debe analizar la posibilidad mediante una herramienta tecnológica, en donde los lectores no puedan observar lecturas anteriores, para evitar las situaciones en donde se utilizan estas para estimar las faltantes.
- Se debe evaluar para incluir en dicha herramienta una generación de alerta cuando se dan cambios muy altos de consumo o se está obteniendo una lectura de cero. La pérdida económica por cobros insuficientes de consumo es millonaria, lo cual podría generar una mejor entrada de recursos económicos a la Municipalidad, fondos a través de los cuales sería posible para este departamento financiar las áreas de mejora que permitan que el suministro de agua a la población del cantón esté asegurado y el mismo sea de calidad.
- En la actualidad, existe una base datos para visualizar por número de medidor el contribuyente, su información y las lecturas tanto la nueva como la anterior, de donde se estima el consumo y el pago correspondiente por el mismo
- Se de buscar cómo estandarizar la toma de mediciones, donde se registren las nuevas lecturas, para esto es que se recurrirá a la implementación del manual que será planteado en este proyecto
- Se estableció que parte de la causa que ha venido generando la problemática de altos consumos o consumos cero; se debe, según la auditoría, a la supervisión poco estricta y deficiente en este departamento, donde se identificó que hay consumos que datan desde mucho tiempo atrás y que aún no han sido

intervenidos; sin embargo al momento de asistir al Acueducto, se identifica que gran parte de las inspecciones solicitadas, en realidad se debieron a otra causa no relacionada con los consumos del recurso hídrico, pero lo que sí se ha acumulado son las sustituciones necesarias de medidores.

- Se buscará establecer un coordinador de lectores que sirva de enlace de comunicación entre cortes y cobros (Departamento Financiero) y el Acueducto

2. “Girar orden a la Encargada de la Unidad Administrativo-Financiera, a la Encargada del área de Planificación Institucional y al o los Encargado(s) del Acueducto Municipal, para que se avoquen en desarrollar el proyecto de instalación de hidrómetros a la totalidad de los abonados del cantón de Paraíso; es decir, lograr que en el corto y mediano plazo lograr la eliminación total de abonados con aguas fijas”

Riesgo inherente: Muy Alto

- Uno de los aspectos a evaluar es la coordinación del Back-Hoe, para la instalación de los mismos, instalación que se pretende principalmente en Cachí, ya que en este distrito todas son aguas fijas de consumo.
- Se debe argumentar motivos y comunicar a las personas la instauración de medidores en los lugares donde aún se realiza el cobro por paja de agua fija de una forma estratégica
- Se puede evaluar mediante un análisis costo-beneficio la compra de hidrómetros para su instalación en los sectores con faltantes de los mismos y la sustitución de los que han cumplido su vida útil o se encuentran en malas condiciones, para así encontrar qué área de mejora trae consigo los beneficios más inmediatos. Este aspecto se encuentra fuera del alcance del proyecto, pero se hace como propuesta a la Comisión de Seguimiento de Informe de Altos Consumos

3. “Girar instrucción a la Encargada de área de Recursos Humanos para que se incorpore dentro de las funciones de los Lectores, las tareas de realizar limpiezas periódicas a las de carátulas de hidrómetros según zonas asignadas (labores de

mantenimiento); la tarea de reportar conexiones de paja de agua directas (sin medidor), participar en suspensiones de servicios y cualquier otras situaciones anormales que detecten en sus zonas de lectura de hidrómetros asignada (p.ej. abonados con varias unidades ocupacionales y una paja de agua; fugas y desperdicios de agua, etc.), informando al Encargado(a) del Área Administrativa Financiera y a las Jefaturas del Acueducto Municipal para lo correspondiente; coadyuvar en la atención de respuesta a reclamos administrativos presentados por los abonados y/o usuarios por desconformidades en la facturación mensual por consumo de agua según zona asignada y otras tareas que estime la Jefatura respectiva”

Riesgo inherente: Muy Alto

- Deben de incluirse las labores de limpieza de carátulas de los hidrómetros, estas tareas ya se encuentran asignadas en el Manual de Perfiles de Puestos a los lectores

4. “Ordenar al Encargado del área de administración de lecturas del Acueducto o a la Jefatura que en adelante tenga a cargo ese personal, establecer al menos una cuota mínima de lecturas diarias por zona asignada (p.ej. 140 lecturas diarias o más), además, que el Lector cargue el mismo día la información sobre las mediciones realizadas al sistema informático municipal”

Riesgo inherente: Alto

- Luego de estandarizar el proceso, se debe asignar una cantidad de lecturas o rutas que debería de completar un lector en una jornada
- Deben ser identificadas las necesidades de una herramienta tecnológica, pues mediante la utilización de la misma podrían tenerse las lecturas cargadas de forma instantánea y automática.
- Hay problemas de manejo de distribución del tiempo de los lectores, quienes aparentan contar con parte de tiempo libre, por lo que se analizará la posibilidad de su colaboración con la detección de deficiencias o problemas en hidrómetros; buscando hacer

aprovechable el tiempo de análisis de mediciones, mejor anotación en bitácora y revisión de casos, además de la generación de expedientes, con el objetivo de para mejorar la efectividad de solución de problemas por reclamos con los usuarios

5. “Girar instrucción al Encargado del área de administración de lecturas del Acueducto y a la Encargada del Área Financiero Administrativa, para que en coordinación con el Encargado del área de TI, establezcan los mecanismos que permitan en lo subsecuente, subir o cargar al sistema informático municipal (SIM o nuevo sistema informático), la información diaria de lecturas de hidrómetros, de tal forma que se erradique la práctica de acumular los datos de mediciones en hidrómetros para subirla a mediados o fin de mes. Tal proceder permitiría identificar en forma diaria la zona recorrida y la cantidad de lecturas realizadas por cada uno de los funcionarios”

Riesgo inherente: Alto

- Este aspecto de igual forma se plantea solucionar a través de la identificación como necesidad para el software, el cual tiene como objetivo mejorar muchos de los aspectos mencionados relacionados a inspección entre ellos la centralización de carga de datos. Con la herramienta tecnológica se desea que esta carga de datos sea de forma individual y en tiempo real
- Es considerado por la Comisión de Seguimiento de Mejora del Acueducto que una oficinista de administración debería de ser la encargada, ya que se desea un perfil de una persona ordenada y preferiblemente mujer, sin embargo, durante las asistencias al Acueducto se recomienda que esta labor sea asignada a uno de los lectores con más experiencia, ya que la oficinista del Acueducto cuenta tiene un recargo considerable de labores, debido al retraso que existe en la resolución de documentos.

6. “Ordenar al Coordinador de Gestión Administrativa del Acueducto Municipal o a la

Jefatura que en adelante tenga a cargo ese personal, para que en los subsecuente asigne órdenes de trabajo a cada uno de los Lectores, con lo cual, se garantiza compromiso en las tareas que deben llevarse a cabo, además, controlar que se abarque a todos los abonados en la medición de lecturas de consumo de agua y se conozca con exactitud el lugar en el que se encuentra cumpliendo su labor cada funcionario. Además, realizar inspecciones periódicas y aleatorias a fin de constatar que la información que aparece en los hidrómetros en el campo coincida exactamente con la que aparece en el sistema que se esté trabajando”

Riesgo inherente: Alto

- Según auditoría, está demostrado que al personal a cargo de lecturas de hidrómetros nunca se les ha establecido metas diarias ni tampoco se les da un monitoreo sobre el cumplimiento de sus trabajos.
- Se considera que existe un faltante de recurso humano que pueda ahondar e inspeccionar los trabajos de la cuadrilla de lectores, por lo cual se evidencia un área de mejora realizar más transparentes los procesos.
- Se identifica como necesidad de la herramienta tecnológica, que esta pueda incluir información con respecto a la localización en que se están realizando las lecturas, para que esta sirva como información para la inspección de esta tarea.

7. “Girar orden al Encargado del personal de lectura de hidrómetros o a la Jefatura que en adelante tenga a cargo ese personal, para que proceda de inmediato, a elaborar los manuales de procedimientos que se requieren en la operativa relacionada con lectura de hidrómetros, de manera que se establezcan los pasos a seguir en esa tarea y se asignen las responsabilidades a los funcionarios que participan en ese proceso.”

Riesgo inherente: Muy Alto

- Esto se pretende será resuelto mediante la estandarización del proceso mediante el análisis de desperdicios bajo principios de Lean Construction, para que el mismo

detalle el proceder del personal y que sea realizado de forma eficiente y se cumpla a cabalidad con todas las acciones necesarias para un buen desarrollo del proceso.

8. "Girar instrucciones al Contador Municipal, a la Contadora del Acueducto Municipal, al Coordinador de Gestión Administrativa del Acueducto Municipal o a la Jefatura que en adelante tenga a cargo el personal de lecturas de hidrómetros, establecer e implementar un control de inventario para todos los hidrómetros en operación, a efecto de que permita conocer datos relacionados con la fecha de adquisición; fecha de instalación; número de placa de inventario; costo unitario; depreciación; depreciación acumulada; años de antigüedad; e incluso, coadyuvar con la mejora en los procesos de contabilización y control interno de tales activos."

Riesgo inherente: Alto

- Se identifica que es una tarea que tomará su tiempo, pero mediante la instauración del manual y el comienzo de uso de la herramienta tecnológica, sea posible iniciar con este proceso y se dé de una forma continua la realización de inventario total de hidrómetros instalados en el cantón
- En este momento no existe una base de información que permita programar un mantenimiento e inventario de uso de los hidrómetros, por lo cual es necesario que se identifiquen y anoten los problemas encontrados en caso de cada hidrómetro
- Para poder realizar una estimación de la demanda diaria, y poder realizar un correcto diseño en la modernización del Acueducto, se necesita contar con datos reales, actualizados y confiables.

9. "Ordenar al Coordinador Administrativo del Acueducto Municipal o a la Jefatura que en adelante tenga a cargo el personal de lecturas de hidrómetros, para que en la operativa relacionada con instalación de nuevos hidrómetros y/o cambios de esos activos (retiros de operación), se remita la información necesaria que se requiere para el control contable, misma que debe incluir datos como: fecha de salida de bodega; número de boleta de salida de bodega;

fecha de instalación; número de placa o número de hidrómetro; nombre del abonado al cual se asignó; cédula de abonado; número de boleta de trámite u orden de trabajo; zona de ubicación del hidrómetro; vida útil estimada; depreciación; nombre y firma del funcionario que autoriza, etc."

Riesgo inherente: Alto

- Se generará el orden de proceder para que la salida de hidrómetros de bodega se realice recogiendo toda la información necesaria de cada uno previo a ser instalado.
- Se generará un mecanismo para generar dicha información con la entrega de hidrómetros en bodega

10. "Ordenar al Coordinador Administrativo del Acueducto Municipal o a la Jefatura que en adelante tenga a cargo el personal de lecturas de hidrómetros para que en conjunto con el Encargado del Acueducto Municipal se avoque a realizar un estudio de levantamiento en campo sobre cada uno de los hidrómetros a efecto de hacer una conciliación con la información contenida en la base de datos y a nivel contable. De los resultados que se obtengan de ese proceso, informar a la Comisión de Depuración de la Base de datos para proceder con el proceso de ajuste a nivel de base de datos cumplimiento con lo dispuesto reglamentariamente."

Riesgo inherente: Muy Alto

- Este aspecto se cubre al realizando el inventario de hidrómetros en uso como ya mencionó anteriormente

11. "Girar instrucción al Coordinador de Gestión Administrativa del Acueducto o a la Jefatura que en adelante tenga a cargo el personal de lecturas, el cabal cumplimiento de las disposiciones contenidas Reglamento para la Operación y Administración del Acueducto de la Municipalidad de Paraíso"

Riesgo inherente: Alto

- Mediante la generación del Manual Instructivo Técnico para registro de lecturas, las funciones quedarán

detalladas y especificadas. De forma que será posible mejorar la supervisión sobre el personal y la aplicación de los reglamentos suscritos al proceso.

12. "Girar instrucción al Coordinador de Gestión Administrativa del Acueducto Municipal y a la Encargada del Área Financiero Administrativa, para que en el trámite de reclamos administrativos que han venido presentando los abonados y/o usuarios de la Municipalidad de Paraíso por altos consumos en el servicio de venta agua, seguir el procedimiento establecido en el artículo 25 del Reglamento para la Operación y Administración del Acueducto de la Municipalidad de Paraíso."

Riesgo inherente: Muy Alto

- Se identifica que hay una acumulación de resoluciones por reclamos, identificados como desperdicios, debido al consumo de recursos que requieren las inspecciones
- Se identifica que en línea no salen desgloses al realizarse los pagos, por lo que se dan constantes reclamos que no tienen relación con el registro de consumos. Mediante las observaciones se identifica que gran cantidad de las inspecciones innecesarias debieron a esto su causa, ya que se confirma que no hay error de lectura o de funcionamiento del hidrómetro, por lo que se devuelve el caso Plataforma de Cobros.

14. "Girar instrucción a la Encargada del área Administrativo-Financiera, al Contador Municipal; a la Contadora del Acueducto Municipal, al Coordinador de Gestión Administrativa del Acueducto Municipal y/o a la Jefatura que en adelante tenga a cargo el personal de lecturas, para que en el trámite de notas de solicitud de arreglo de consumo remitidas al área de Tecnología de Información (Soporte Informática), se cumpla de previo con las disposiciones contenidas en el Reglamento de la Depuración de la Base de Datos de la Municipalidad de Paraíso"

Riesgo inherente: Alto

- Dentro de la estandarización del proceso de lecturas, se establecerá el proceder

de los lectores para la comunicación de estos casos, mediante un profesional de enlace y no propiamente como indicación de los lectores.

15. "Solicitar a la Encargada del área de Recursos Humanos, para que en coordinación con la Encargada del área Administrativo Financiera y el Encargado del Acueducto Municipal, se avoquen a revisar las tareas y actividades que deben llevar a cabo los funcionarios a cargo de las lecturas en hidrómetros según Manual de Perfiles de Puestos de la Municipalidad de Paraíso, a efecto de hacer los cambios necesarios en las tareas, funciones, responsabilidades, requisitos y demás que deben cumplir; siendo conveniente eliminar o adecuar la tarea de realización de inspecciones en reclamos administrativos relacionados con lecturas por altos consumos en los casos donde tengan participación directa; es decir, donde el mismo funcionario que hizo la lectura luego lleva a cabo la visita de inspección"

Riesgo inherente: Alto

- Como parte del proyecto se revisarán las tareas y actividades que deben llevar a cabo los funcionarios a cargo de las lecturas en hidrómetros según Manual de Perfiles de Puestos de la Municipalidad, a efecto de sugerir los cambios necesarios, para junto a la estandarización del proceso hacer parte el proceder de inspección ante reclamos administrativos por lecturas por altos consumos en los casos donde tengan participación directa

16. "Tomar acciones para que se pueda capacitar otros funcionarios en la tarea de lectura de hidrómetros, con lo cual, se puede mejorar en aspectos de compromiso, crecer en atención y calidad en el servicio al usuario, buscar eficiencia en esa labor operativa; erradicar abusos y zona de confort de funcionarios con mayor experiencia en ese campo; minimizar la problemática de reclamos administrativos presentados por los abonados, entre otros aspectos. Además, valorar una eventual reubicación o remoción de los lectores actuales (aplicando de previo el debido proceso), según mejor convenga a los intereses institucionales."

Riesgo inherente: Muy Alto

- Una vez analizado y diseñado el manual de procedimiento de esta tarea y con ayuda del uso de la herramienta tecnológica, es posible posteriormente para la municipalidad implementar un proceso de capacitación o de inspección sobre los lectores
- Mediante la asistencia al Acueducto se logra constatar que los reclamos por altos consumos, en gran parte de los casos no se debe a una situación relacionada con el personal y el registro de la lectura, sino que existen otras diversas razones que afectan la generación de flujo de valor de los lectores.

17. “Requerir a la encargada del área Financiero – Administrativa y al encargado de Tecnología de información, valorar e informar a la Alcaldía Municipal sobre la viabilidad de implementar el uso de nuevas tecnologías en tareas relacionadas con lectura de hidrómetros (teléfonos inteligentes para trabajo pesado, etc.), aspecto que permitiría mejorar los controles en ese sentido”

Riesgo inherente: Muy Alto

- Se está haciendo el análisis para identificar a partir de este informe e inspecciones al campo, y las conclusiones del proyecto de graduación, sobre las necesidades de esta herramienta tecnológica, pues se pretende que a partir del uso de la misma sea posible intervenir en diversos puntos de este informe.

18. “Ordenar al Coordinador de Gestión Administrativa del Acueducto Municipal o a la Jefatura que en adelante tenga a cargo el personal de lecturas de hidrómetros, elaborar en un corto plazo los manuales de procedimientos del área de Acueducto Municipal, cuyo documento debe incluir todas aquellas actividades o procesos que deberían estar regulados y no lo están a la fecha, tal es el caso del tema relacionado con: “Administración y coordinación del área de lecturas del Acueducto (Lectores), la operativa inherente al control de boletas de combustible; Comisión del agua;

Coordinación y administración del personal del acueducto; Administración del almacén municipal; etcétera, asimismo, someterlos a la revisión y aprobación de la Alcaldía Municipal”

Riesgo inherente: Alto

- Se pretende realizar dicha estandarización a través del proyecto, en donde se evaluará la forma de hacerlo lo más eficiente posible bajo el uso de principios de Lean Construction que se investigará en el desarrollo del mismo

20. “Ordenar a la Encargada del área de Recursos Humanos para que el horario del Coordinador de Gestión Administrativa del Acueducto Municipal o a la Jefatura que en adelante tenga a cargo el personal de lecturas de hidrómetros, se ajuste al horario diurno administrativo, pues no se trata de puesto operativo, de manera que se realicen los ajustes necesarios a nivel de manual de perfil del puesto y a través de la acción de personal respectiva”

Riesgo inherente: Alto

- La auditoría indica que “La jornada laboral de los funcionarios a cargo de lecturas de hidrómetros inicia a las 6:00 a.m., pero se logró identificar que la mayoría comienza a realizar su trabajo efectivo entre 7:15am - 8:00am por lo que es otra área de mejora identificada”. A pesar de ello, durante las asistencias al Acueducto se logró observar que en la práctica no sucede lo indicado, pues contrario al resto de cuadrillas los lectores de hidrómetros siempre son los primeros en iniciar labores de campo al menos durante el desarrollo del proyecto.

21. “Solicitar información periódica (p.ej. mensual, bimensual) al área de Tecnología de Información sobre los casos de abonados que reportan mensualmente consumos de agua en cero en sus hidrómetros; a efecto de llevar a cabo tareas de monitoreo y verificación en el campo, para determinar si la causa obedece a una situación razonable y dentro de lo normal (p.ej. casa o local desocupado, otras); o bien, si se debe a otras causas que deben ser corregidas (p.ej. hidrómetro con desperfecto y que no ha sido

reportado; omisiones o falta de lecturas; etc.), adoptando las medidas correctivas en caso necesario.”

Riesgo inherente: Alto

- Se identificaron varias situaciones en donde los medidores ya llevaban gran cantidad de meses con lectura cero en lugares donde se conocía viven personas o tienen uso comercial o incluso reproductivo
- Se hará parte del Manual de Lecturas en Hidrómetros, el proceder a través del colector en caso de identificar anomalías, para que en todo caso sea evidenciado y sea posible realizar los cobros respectivos.
- Para llevar a cabo tareas de monitoreo, se hace necesario contar con un inventario con la información pertinente, de otra forma dicho proceso no será efectivo

Como conclusión general al analizar todos los puntos anteriormente identificados se concluye que la intervención debe ser inmediata, pues debido a los citados puntos con respecto a la lectura en hidrómetros se estima que las pérdidas monetarias por estos aspectos son millonarias, ya que en numerables ocasiones quedan sin resolver y pasan períodos de hasta un año o más sin poder hacerse otros cobros, donde incluso se datan más de 500 considerados incobrables. Estos aspectos serán resueltos a diferentes plazos, pues algunos son de mayor impacto y algunos otros más complicados, ya que requieren de un amplio recurso humano. Cabe resaltar lo esencial que es que la herramienta tecnológica sea evaluada con detenimiento, ya que es una de las herramientas principales para comenzar a ordenar la forma de trabajar de este departamento; pues el proceso de lectura en hidrómetros es lo que más está afectando actualmente al Departamento del Acueducto Municipal, en términos económicos.

# Entrevista a Ingeniero Supervisor de Aforo

- ¿Cuál es programa de aforo de fuentes de agua?

Los aforos se realizan los 3 últimos días laborales de cada mes, en su totalidad bajo ruta según su área de localización, sin embargo, la misma no está definida y se manifiesta por parte de la jefatura, que el mismo no es cumplido.

- ¿Cuáles son las funciones de cada uno de los colaboradores de la cuadrilla que realiza esta tarea?

Generalmente se asignan las funciones, pero no está establecido, cualquier trabajador de la cuadrilla realiza las diferentes tareas

- ¿Cuál es el resultado esperado por parte de la cuadrilla?

Lo esperado es que se realicen los aforos de las nacientes indicadas, sin embargo, no se tiene programación alguna con ello, de cierta forma se espera que puedan completarse porque empíricamente se considera es tiempo suficiente. Sin embargo, a pesar de existir un cronograma, el mismo no se sigue y los aforos se dan sin una periodicidad que dé validez a los datos recolectados. Incluso, a través del acceso a los datos históricos se logra observar que hay meses en los que no se realizaron del todo.

- ¿De qué forma se realiza la supervisión sobre esta tarea?

Los colaboradores conocen las indicaciones, pocas veces se han acompañado para constatar que el procedimiento es el correcto, por lo que se puede calificar que hay una supervisión deficiente.

- ¿Cuáles son los problemas más frecuentes?

Una de las principales limitantes es la falta de personal, ya que no hay una cuadrilla destinada a la labor, sino que es personal que tiene encargado el mantenimiento de fuentes; el cual permanentemente es

solicitado como apoyo a las labores de fontanería. Además, existen accesos que son restringidos y se requiere permiso de dueños de la finca, para ello se está en proceso de negociación, sin embargo, el mismo transcurre a un paso lento; mientras que otros accesos tienen recorridos bastante largos y dificultosos

- ¿Con qué equipo dispone la Municipalidad para la realización de esta tarea?

El Departamento en la actualidad, únicamente realiza aforo en nacientes por el método volumétrico, para esto cuenta con un cronómetro digital, y con una serie de cubetas plásticas de 3,75 L, 10 L, 20 L, 65 L de capacidad que funcionan como volúmenes de control, sin embargo, se indica que las mismas tienen una antigüedad considerable por lo que desea que estas puedan ser sustituidas.

- ¿Existe monitoreo alguno sobre las condiciones climáticas?

No, absolutamente del todo no. Se ha buscado establecer redes de estaciones climáticas, pero no se ha logrado ni se visualiza con éxito en un mediano plazo

- ¿Cuál es la recomendación principal que desde su perspectiva mejoraría el proceso?

Los sistemas de aforo no están bien estructurados. Hay nacientes que se han intervenido, pero en casi la totalidad de las mismas no existe un sistema idóneo que permita un adecuado desarrollo de la medición. Esto fue corroborado mediante visita a la Naciente La Capira, ya que no hay posibilidad de colocar un recipiente de forma vertical correcta para su llenado, además sucede en otras nacientes como Jorge Obando.

- ¿En qué momento se decide la fuente que será aforada en tal día?

Normalmente la indicación se da el día previo, sin embargo, el aviso es sobre que se requiere aforar, pero no especificando la fuente

- ¿Cómo se reciben los formularios técnicos? ¿Cuál es el procedimiento una vez entregado el documento?

Los mismos son recibidos en la oficina del acueducto y en algún momento se ingresan los datos para el cálculo del caudal y su registro en la base datos de la municipalidad

- ¿Cuál es la situación con respecto a la medición de caudales en pozos?

Actualmente no se realiza del todo, no hay sistemas que lo hagan posible, sin embargo, puede evaluarse una propuesta de inversión

# Entrevista a Funcionarios Encargados de Aforo

- ¿Cree usted que entiende a cabalidad la metodología de aforo?

Peón 1: Sí, se entiende el procedimiento, y se entiende que entre menor sea el tiempo de llenado de una cubeta es porque mayor es el caudal

Peón 2: A perfección, se explicó el proceso y se denota seguridad en respuesta

- ¿Cómo aprendió a realizar esta tarea?

Peón 1: Se dio una inducción por parte del AyA al iniciar a realizar estas funciones

Peón 2: Se dio una inducción por parte de la jefatura del acueducto en acompañamiento de otros compañeros

- ¿Cuántas veces repite la medición y por qué?

Peón 1: Se repite 5 veces por recomendación del AYA

Peón 2: Para obtener el promedio de los tiempos en lugar de utilizar un solo dato que pudo haber estado mal

- ¿Qué no le gusta sobre su función?

Peón 1: Le ponen alma vida, y corazón; pero en ocasiones las mediciones se repiten porque no sirve el dato recolectado debido al faltante de un sistema idóneo como sucede en Higuerones, Volio, Chilamate y Guzmán

Peón 2: En ocasiones los retrasos por accesos suelen provocar pérdidas de tiempo que luego durante el día deben de recuperar por lo que les toca correr mucho y suele suceder pierden el tiempo de almuerzo.

- ¿Qué le pediría usted al Acueducto para realizar mejor su labor? ¿Qué opina respecto al equipo y carga de trabajo?

Peón 1: Es primordial adecuar los sistemas de aforo, pues en varias nacientes deben de repetir una mayor cantidad de veces las mediciones pues no son efectuadas correctamente. Pueden contar con ellos para la realización de los aforos

Peón 2: Se ha trata de implementar un cronograma, pero el mismo no se logra seguir y se abandona, además de que debe coordinarse mejor el cómo se giran instrucciones

- ¿Cuáles son los problemas más comunes que se presentan al realizar los aforos?

Peón 1: Además de los problemas de accesos por motivos legales, se dan problemas de acceso por árboles caídos o situaciones similares

Peón 2: Se generan frecuentemente problemas con animales, se encuentran serpientes venenosas y se han visto afectados por picaduras de abejas.

- ¿Considera que el acueducto está cayendo en algún error que afecta los registros de aforo?

Peón 1: Plantearlo a realizarse semanalmente se considera bastante complicado aplicarlo, debido a que el personal también debe cumplir con otras tareas, pero con la gente directamente asignada, se considera un poco más viable. Se visualiza la propuesta personal a proponer como buena posibilidad

Peón 2: La no inversión en sistemas que permitan aforar correctamente

- ¿Cuál es su consejo personal para la mejora del Acueducto en sus funciones?

Peón 1: Deben de legalizarse correctamente los accesos a Nacientes como Paso Ancho, Volio, Loaiza y Nicanor. En ocasiones deben ingresar por otros sectores lo cual les consume un mayor tiempo

Peón 2: El hecho de tener que literalmente meterse dentro de la fuente es muy desagradable y para nada aseado, se deben de adecuar los sistemas. Ellos suelen andar en fincas ganaderas donde se llenan de boñiga y posterior eso ingresan en el tanque

- ¿Considera que suelen presentarse tiempos de espera no contributivos a la realización de la tarea? ¿Se identifica alguna razón por ello?

Peón 1: Sí, el principal problema son los retrasos que se dan en los accesos a las fincas, pues en variedad de ocasiones se presentan al sitio y deben de esperarse hasta que el dueño o encargado les abra (Que puede ser hasta 20 minutos después) y en ocasiones retirarse sin éxito

Peón 2: En ocasiones se les indica el lugar al que van acudir, preparan todo e incluso ya de camino se deben de devolver porque se les cambia la asignación de tareas del día, entonces deben de volver a presentarse a guardar la herramienta sin haber avanzado nada en sus deberes.

# Reunión con los Lectores de Hidrómetros

El día 28 de octubre, se realiza una reunión con la sección de lectores del Departamento, para acordar acciones, frente a la solicitud por parte de la Alcaldía de la intervención de esta tarea. En la misma, se tratan varios aspectos analizados en las reuniones de la Comisión de Mejora del Acueducto.

- Se debe de realizar un levantamiento de los medidores con registros de consumo cero, y así asignar sus posibles causas, para así realizar una evaluación si los mismos podrían estar en mal estado o los lugares se encuentran desocupados, para los mismos se debe registrar nombre, número de finca, numero de medidor, categoría, entre otros que se consideren necesarios.
- Se debe identificar las rutas con su cantidad de medidores asignados actualizado
- Se debe de realizar una bitácora en donde se indique el día, la ruta y el lector a cargo, así como el cumplimiento o no de las metas diarias
- El Manual de Procedimientos debe de quedar dentro del alcance de las funciones del lector, o en dado caso se tendrá que presentar una modificación a Recursos Humanos lo cual es más dificultoso por los contratos
- Se solicita una supervisión sobre la jornada laboral, sin embargo, existen interferencias con respecto a Recursos Humanos, ya que los contratos indican un horario de 7am 4pm, pero en la práctica sus colaboradores inician labores a las 6am
- Se identifica una manipulación en el sistema por parte del Departamento Financiero que está provocando desperdicios por repetición de procesos innecesarios en cuanto a las inspecciones
- Los lectores manifiestan total desacuerdo sobre las acusaciones de usos excesivos de los vehículos, por el lado contrario, lo consideran como una limitante
- Hay diversas variables para los reportes por altos consumos, los cuales se deben de identificar de forma individual ya que su resolución depende de las características de cada uno
- Hay casos de resolución de reclamos que tardan hasta 6 o 7 años, tiempo por el cual los abonados dejan de pagar el servicio, generando deudas incluso millonarias
- No se ha dado apertura a una reunión de acercamiento al personal, lo cual se considera necesario a efectuar en corto plazo para mejorar la coordinación entre lectores y su supervisión
- A solicitud del alcalde, se variarán los encargados de realizar la inspección con los encargados de cada ruta, para que así los reclamos sean atendidos por un lector diferente a quién registra la lectura

# Entrevista a Supervisión de Lectores

- ¿Cuáles son las posibilidades de implementación de un nuevo software?

Es un hecho que se dará un cambio en el software utilizado, por lo que el deseo ahora es poder hacer la inclusión del mismo y que tenga las especificaciones necesarias para intervenir las problemáticas requeridas

- ¿Por qué se decidió tiempo atrás asignar rutas?

Se planteó para dar un mayor orden y responsabilidad a los lectores sobre sus rutas, pensando en que, con un mayor conocimiento de las mismas, es posible que efectúen más eficientemente sus tareas, además de generar un mejor procedimiento de control para la administración

- ¿Existe evaluación de los procesos con el cambio?

No se realizó ninguna evaluación, pero se considera que fue un cambio bueno por motivos de que hay un mayor orden de los mismos lectores para el día a día en sus rutas y se puede responsabilizar directamente situaciones específicas.

- ¿Cuál es su consejo personal para la mejora del Acueducto en sus funciones?

Primeramente, el Reglamento del Acueducto actual deja muchos vacíos; no detalla en muchos aspectos el proceder ante irregularidades a la hora es que se están registrando los consumos. Se pretende que sea publicado uno nuevo para el próximo año, sin embargo, se conoce de la elaboración del mismo, pero no ha existido acercamiento alguno a la dirección del Acueducto por lo que se cree posible que sigan sin detallar algunos aspectos de relevancia.

En segundo lugar, no existe un Manual de Procedimientos, el cual debería indicar el proceder de los lectores en caso de no poder tomar alguna lectura, o el cómo notificarlo a la

supervisión. Además, sin un Manual de Procedimientos, no se puede demostrar errores por el no seguimiento del mismo, por lo que tampoco se puede sancionar cuando hay faltas o procedimientos incorrectos.

La implementación de tecnología permitirá la intervención de problemas recurrentes, que a veces parecen sencillos, pero su resolución directamente significa una mayor eficiencia de labores.

- ¿Qué le pediría usted al Acueducto para realizar mejor su labor?

Una mejora de las instalaciones suele significar una mejora en las funciones de los colaboradores, hay equipos que presentan fallas constantemente. Además de que aspectos como goteras (Esto fue presenciado) son usuales en las oficinas en dónde incluso se observó lo utilizado fue uno de los recipientes de control para el aforo de nacientes.

- ¿Cuál es el proceder en caso de imposibilidad de toma de lecturas debido al clima?

No se puede ir, se pospone porque se considera que no genera atrasos, ya que se adelantan otras tareas; tanto por cuidado del recurso tecnológico como por cuidado del recurso humanos. Sin embargo, hay casos donde se vuelve muy prolongado, y en donde sí se envían a los lectores, aunque esté lloviendo.

- ¿Cómo se coordina el uso del vehículo?

No existe, se tienen 2 vehículos asignados uno individual tipo cuadríciclo, utilizado por uno de los lectores que tiene asignadas rutas con puntos de lectura más distanciados entre sí, mientras que el otro vehículo es un Jeep, utilizado por el resto de lectores para dejar y recogerse entre ellos en campo, además de asistir a los lugares solicitados ora inspección.

# Entrevista a Lectores

¿Cómo aprendió a realizar esta tarea?

Lector 1: A través de las inducciones del Acueducto, tanto para la lectura de consumos como para el registro de los mismos utilizando el hardware

Lector 2: Los mismos compañeros enseñaron las rutas y realizaron la inducción del cómo realizar lecturas, acompañando en los primeros recorridos

Lector 3: Los compañeros dieron una inducción, para ir aprendiendo el cómo leer y registrar las lecturas, por parte de la municipalidad o propiamente del acueducto no fue así.

Lector 4: Por medio de los mismos compañeros, se realizaron rutas en conjunto para la demostración de las tareas

Lector 5: El suministro de agua estaba a cargo del AyA, cuando fue creado el Acueducto en 1990, personal del AyA asistió a la realización de inducciones y lecciones de cómo utilizar los sistemas de registro.

- ¿Qué no le gusta sobre su función?

Lector 1: Se indica que se considera que se está cayendo en sobreinventario, esto con referencia al doble trabajo innecesario, ya que se realizan las mismas inspecciones hasta tres veces o más, debido que desde la plataforma de cobros se realizan solicitudes inspecciones sin certeza de ser necesarias. Sumado a la poca confiabilidad en sus tareas. Además, las instalaciones no son adecuadas y es excesiva la entrada y salida de muchos funcionarios no relacionados directamente a sus funciones.

Lector 2: Cuando se realizan las mismas inspecciones porque se achaca a ser errores de lectura y en gran cantidad son propios de variación de consumo. Es recurrente que se solicite inspecciones por altos consumos, y al momento de asistir al lugar se verifica la lectura de consumos y más bien son bajos, pero da el reclamo por parte del contribuyente al confundir

el cobro de impuestos con un sobre cobro por consumo

Lector 3: Plataforma envía inspecciones, las mismas se realizan, pero si el contribuyente continúa con el reclamo, vuelven a repetir la inspección hasta más de tres veces. Es recurrente que los contribuyentes se enojan cuando son consumos internos, pueden tener una fuga y no la reportan.

Lector 4: Se siente ameno realizando su función, a veces les toca debatir con abonados molestos, pero es cuestión de tener paciencia

Lector 5: Se siente a gusto realizando su función, su experiencia le da mayores facilidades y realmente le encanta el trabajo, lo único que no le gusta es que el mismo suele ser desvalorado e incluso llevan un tiempo prolongado con una sensación incómoda de persecución política, pues se crítica su labor, pero no se realiza inspección sobre posibles razones de afectación de la misma

- ¿Qué le pediría usted al Acueducto para realizar mejor su labor?

Lector 1: Se desea una mayor supervisión sobre las labores, pues existe desmotivación por la falta de confianza en las tareas realizadas, donde se realiza la crítica cayendo en el error obviar la visita de constatación en campo. Se les responsabiliza de las situaciones de altos consumos cuando en campo lidian con muchas dificultades.

Lector 2: Cambio de los medidores muy viejos o en mal funcionamiento, además la oficina tiene deficiencias, no es funcional, desde mucho tiempo atrás hay presencia de goteras, computadoras dañadas y encandila el sol durante las tardes

## Observaciones Adicionales de los Lectores

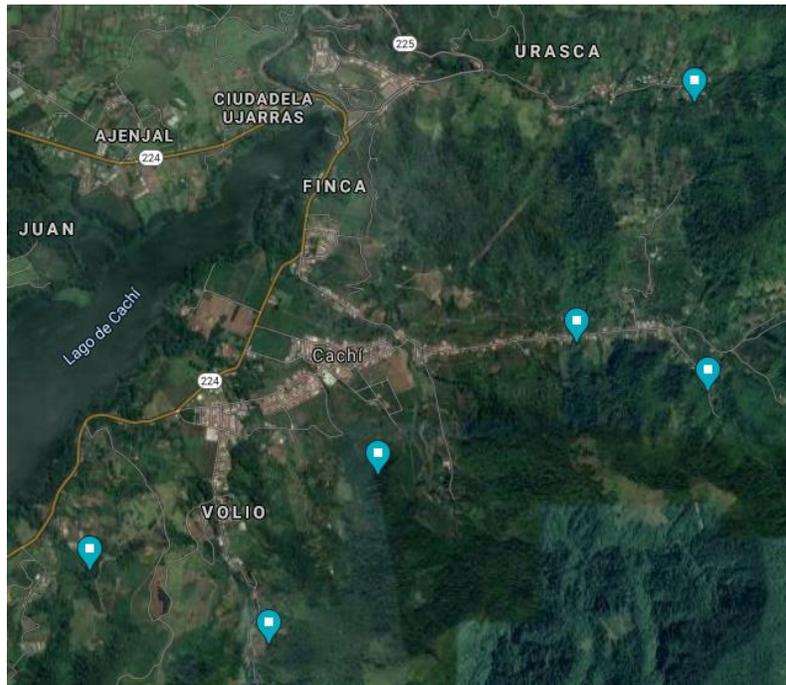
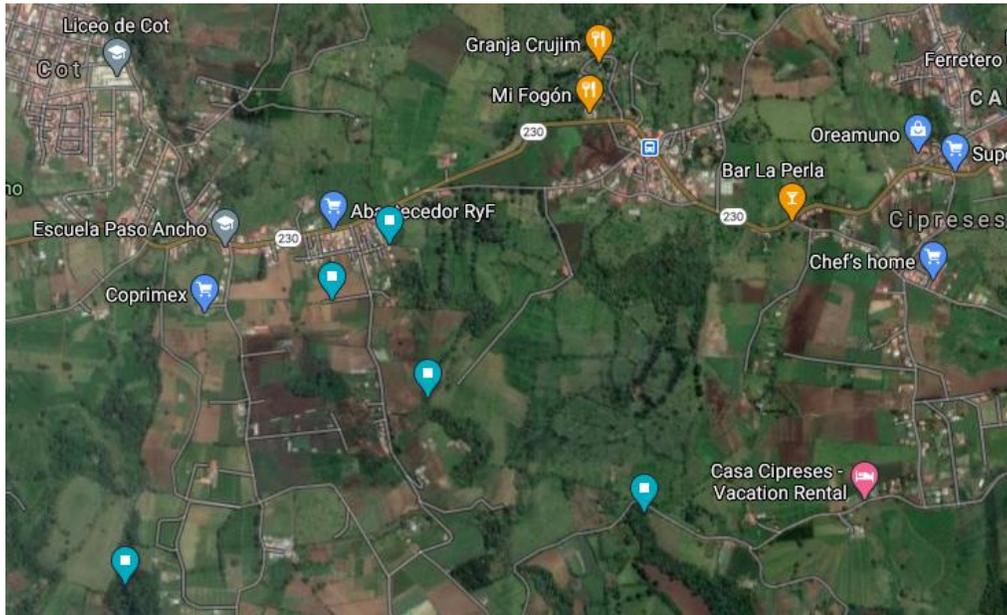
Consideran se ha ido incrementando la cantidad de hidrómetros por revisar sin ninguna evaluación o criterio sobre la cantidad de lectores. Hay asentamientos con índices de desarrollo muy acelerados, donde en 5 años los libros han pasado de registrar 50 a 300

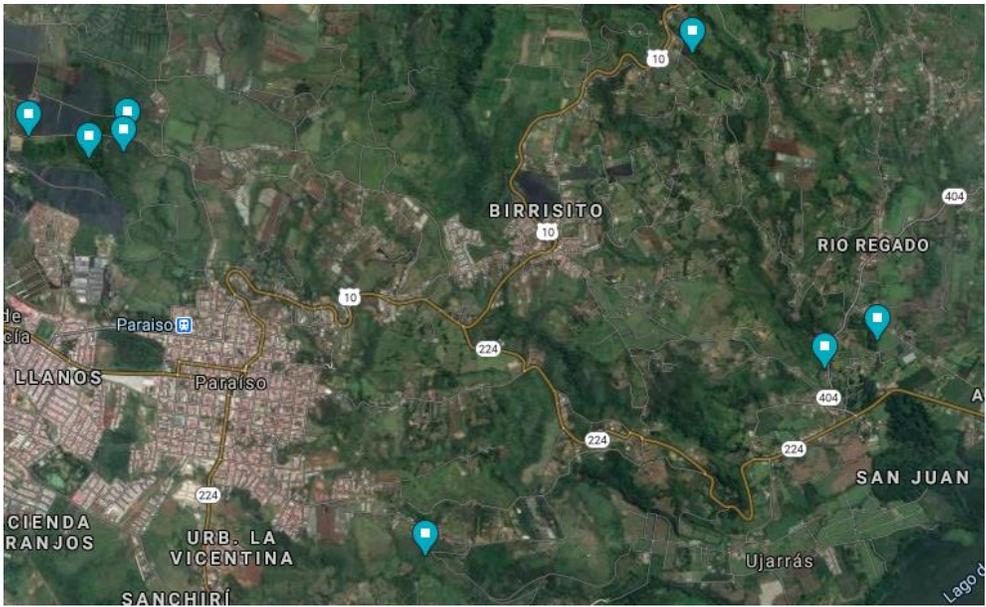
medidores registrados, sin ninguna evaluación sobre dichos incrementos

Existen varios errores dados meramente por un error en el sistema informático, ya que se han duplicado usuarios en el sistema generando errores de cobro

Cuando se realizan racionamientos de agua, se dan situaciones de incrementos de consumo debido a flujos de aire que se cuelan en las tuberías; por lo que suelen aumentar las solicitudes por inspecciones y afecta el funcionamiento en sí del Acueducto, ya que sus colaboradores se deben de concentrar en las resoluciones a dichos reclamos

En plataforma se indica que son errores de lectura, con la inspección se verifica que no hay error en el registro ni en el funcionamiento del medidor, los contribuyentes se molestan y defienden su posición ya que en plataforma en algún momento se les dio la razón por lo que deciden no pagar el servicio y el tiempo para el estudio del caso se prolonga





# Anexos

Anexo 1. Boleta de Requisición de Fontanería del Acueducto

Anexo 2. Ficha técnica volúmenes adquiridos por la jefatura para la realización de los aforos

Anexo 3. Ficha técnica Molinete Universal F1 del fabricante Seba Hydrometrie

Anexo 4. Estadia SitePro de 5 metros en aluminio telescópica E métrico mm

Anexo 5. Formulario Técnico de Aforo anteriormente utilizado por el Acueducto

Anexo 6. Evidencia de factura de compra de hidrómetros

Anexo 7. Boleta de Requisición de Materiales

Municipalidad de Paraíso Boletas de Fontanería		HORA DEL REPORTE	
ORDEN 2021-253	Fecha solicitud _____	Fecha ejecución _____	
	Hora Inicio _____	Hora finalizado _____	
Nombre Contribuyente _____		Cédula _____	
Teléfono _____		Correo _____	
Direccion _____			
<b>Trabajo a Realizar:</b>			
<input type="checkbox"/>	Instalacion de nueva conexión	<input type="checkbox"/>	Reinstalar Medidor
<input type="checkbox"/>	Suspension del Servicio	<input type="checkbox"/>	Reparacion Tuberia
<input type="checkbox"/>	Fuga en el Medidor	<input type="checkbox"/>	Nivelar Caja
<input type="checkbox"/>	Tubo Atascado	<input type="checkbox"/>	Trasladar medidor
<input type="checkbox"/>	Cambio de Medidor	<input type="checkbox"/>	Buscar y limpiar Medidor
<input type="checkbox"/>	Cambiar Llave	<input type="checkbox"/>	Alto consumo
<input type="checkbox"/>	Faltante de agua	<input type="checkbox"/>	Inspección
Funcionarios que realizaron el Trabajo _____			
_____ Fontanero		_____ V.B Ingeniero a Cargo	

Productos > Laboratorio de Productos plásticos > Productos plásticos REUTILIZABLES > BOTELLAS ASPIRADOR

**BOTELLAS ASPIRADOR**

- HDPE
- color natural
- con escala en litros azul y cierre de rosca en la llave de paso
- HDPE
- azul (480 a 76.459)

Volumen	El arte no.	Embalaje
5 L	UAE 350 a 84.137	11
10 L	UAE 350-84132	6
25 L	UAE 350 a 84.138	5
60 L	UAE 350-84139	2



# Molinete universal F1

El **molinete universal F1 de SEBA** está diseñado para determinar la velocidad de la corriente del agua en arroyos, ríos, canales y en el mar. El molinete puede ser usado instalado sobre una barra-soporte o bien suspendido de un cable trasbordador, y permite mediciones de 0,025 m/s hasta 10 m/s.

- Ventajas especiales:**
- realizado en materiales totalmente anticorrosivos
  - baja velocidad de arranque, 0,025 m/s
  - transmisión de muy baja fricción
  - sistema modular

## Descripción

El molinete universal F1 de SEBA está preparado para ser usado sobre barras-soporte y también como equipo medidor de caudal suspendido de un cable (mediante torno o instalación de cable estacionaria).

## Cuerpo del molinete

El cuerpo del molinete, de línea redondeada y aerodinámica, y el eje de la hélice están fabricados en acero inoxidable de alta calidad. El eje de la hélice, con baño de aceite, gira sobre dos rodamientos de bolas especiales. El aceite y un sellado especial protegen al aparato contra la entrada de agua en el mismo. Una base enroscable protege a la hélice de los golpes contra el fondo del cauce.

## Mecanismo de contacto

Se genera un impulso por cada revolución de la hélice, mediante un imán permanente. Debido a la ausencia de fricción en esta operación, se incrementa la sensibilidad del instrumento. El mecanismo de contacto se puede cambiar rápidamente sin problemas.

## Maleta de instrumentos

Versión robusta realizada en plástico.  
Dimensiones:  
estándar con compartimento para la caja-contador 540 x 420 x 160 mm  
Peso:

maleta con accesorios del molinete aprox. 6,5 kg

## Determinación de la velocidad de la corriente

La velocidad se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V = k \cdot n + \Delta$$

donde:

V = velocidad de la corriente (m/s)

k = paso hidráulico de la hélice (m)\*

n = revoluciones de la hélice por segundo

$\Delta$  = constante del molinete (m/s)\*

\*) determinados mediante ensayos en canal de tarado.

## Hélices

Ø (mm)	paso (m)	velocidad máx. de la corriente de agua (m/s)	material
80 *	0,30	10,0	plástico
125 *	0,30	10,0	plástico
80	0,125	5,0	metal
80	0,25	10,0	"
80	0,50	10,0	"
125	0,125	5,0	"
125	0,25	10,0	"
125	0,50	10,0	"
125	1,0	10,0	"

Las hélices estándar \* están fabricadas en plástico (poliamida B) de fibra de vidrio reforzada con hierro incrustado. Las hélices son de la misma forma, con un paso muy preciso y con una elevada estabilidad respecto a la temperatura y la deformabilidad. Todas las hélices son intercambiables. Un tarado estándar es suficiente, no se precisa tarado individual alguno (un tarado individual puede ser realizado por encargo).

## Posibilidades de aplicación

Existen diferentes formas de utilización, aplicables a múltiples problemas de medida. El molinete universal F1 de SEBA se monta a menudo sobre una barra-soporte para utilizarlo en arroyos, riachuelos o ríos con bajos niveles de agua y bajas velocidades de la corriente. Son posibles los siguientes modelos de aplicación:

1. Fijación del cuerpo del molinete directamente a una barra-soporte de 20 mm de diámetro (en acero inoxidable) y utilización de un indicador de la dirección de la corriente (fig. 1).

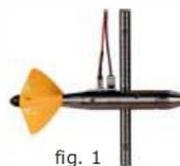


fig. 1

2. Fijación del cuerpo del molinete a una pieza para desplazamiento (en aluminio) acoplada a su vez a una barra-soporte de 20 mm de diámetro (fig.2).



fig. 2

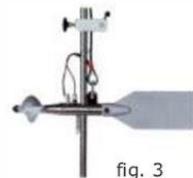
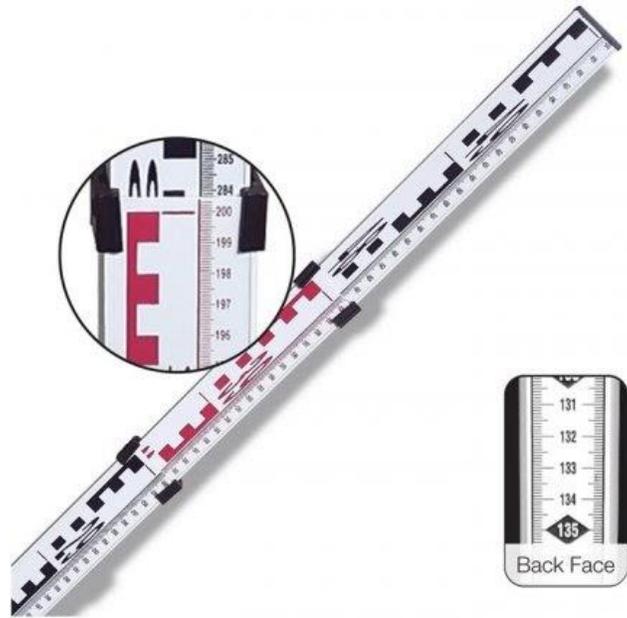


fig. 3

3. Utilización de una aleta-timón fijada al molinete mediante una pinza especial (fig. 3).



<b>Método Volumétrico</b>	<b>Nac: 1</b>	<b>Nac: 2</b>	<b>Nac: 3</b>	<b>Nac: 4</b>	<b>Nac: 5</b>
Recipiente (L)					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					
Tprom					
<b>Caudal (L/s)</b>					



(506) 2528-5880  
25285880  
facturacion@coprodesa.com  
VENTA AL POR MAYOR DE REPUESTOS Y/O  
ACCESORIOS PARA MAQUINARIA Y EQUIPO  
AGROPECUARIO

FACTURA ELECTRONICA: 0010000101000008807

Clave Comprobante: 5062610200031010265070010000101000008807104536025  
Fecha de Emisión: 26/10/2020 15:44:00 Tipo Cambio: 0.00  
Moneda Aplicable: COLÓN COSTARRICENSE Versión Documento: 4.3  
Consecutivo: 0010000101000008807

CONSULTORA COSTARRICENSE PARA PROGRAMAS DE DESARROLLO S.A. - 3101026507

Condición de Venta : CRÉDITO Plazo: 31 Medio de Pago : TRANSFERENCIA - DEPÓSITO BANCARIO

Ciente: MUNICIPALIDAD DE PARAISO

Dirección: PARAISO  
COSTA RICA

Identificación: 3014042086

Teléfono: (506) 2574-7811

Correo:  
facturas@municipalparaiso.go.cr;ngambo@coprodesa.com

Línea	Artículo	Descripción	UM	Precio Unit.	Cantidad	Descuento	IVA	Valor Total
1	ARD-HID-034	HIDROMETRO 1/2' MJ (12MM) ENCAPSULADO ROSCADO ARAD	Otros	23,684.40	700	0.00		16,579,080.00
2	RAI-JUE-001	JUEGO DE ACCESORIO 1/2' (12MM) BRONCE (LT)	Otros	10,892.60	700	0.00		7,624,820.00
3	CHI-CAJ-001	CAJA 1/2' (12MM) DE PROTECCIÓN EN HF	Otros	11,053.10	700	0.00		7,737,170.00

		<b>MUNICIPALIDAD DE PARAISO</b>		<b>REQUISICION DE MATERIALES</b>		<b>Consecutivo</b> <b>N° 4198</b> Acueducto	
		Fecha: _____	Ord. Trabajo _____	Departamento: _____			
ITEM	CANTIDAD SOLICITADA	DESCRIPCION	DESTINO	CANTIDAD ENTREGADA	OBSERVACIONES (# MEDIDOR)	CHEQUEO EN SEGURIDAD	CONDUCTOR
	1						N° Placa
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						V.B. Seguridad
10							
Firma jefe		Nombre responsable			Firma responsable		

# Referencias

<http://revistainnovaciones.uanl.mx/index.php/revin/article/view/199>

- Alpízar, G. (2017). *Aplicación de Lean Construction a través de la metodología Last Planner a proyectos de vivienda social de la Fundación Promotora de Vivienda (FUPROVI)* (Tesis de pregrado). Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Recuperado de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7272/Aplicacion\\_%20lean\\_construction\\_metodologia\\_last\\_planner.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7272/Aplicacion_%20lean_construction_metodologia_last_planner.pdf?isAllowed=y&sequence=1).
- Alvarado (2020). *Respuesta a Auditoría sobre Altos Consumos*. Paraíso
- Alvarez, A. (2020). *Diagrama Causa-Efecto (Diagrama Ishikawa)*. Recuperado de <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/diagrama-causa-efecto-diagrama-ishikawa>
- Aragón, D. (2020). *Fundamentos de Lean Construction*. Programa de Educación Continua de la Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Argos (s.f.) *Caracterización de impactos ambientales en la industria de la construcción*. Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion>
- Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (2008). *Norma Técnica: Hidrómetros para el servicio de Acueducto*. Recuperado de <https://www.aya.go.cr/ASADAS/Leyes%20y%20reglamentos/NORMA%20TECNICA%20HIDROMETROS%20PARA%20EL%20SERVICIO%20DE%20ACUEDUCTO%20AR-HSA-2008.pdf>
- Badii, M. et al (2018). *Tamaño óptimo de la muestra*. Recuperado de
- Castillo, J. (2017). *Propuesta de una guía metodológica para la gestión de proyectos de construcción del Acueducto Municipal de Santo Domingo de Heredia*. (Tesis de pregrado). Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9348>
- Centro Nacional de Metrología (2009). *Métodos de Calibración de Métodos de Calibración de Cronómetros*. Recuperado de [http://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE\\_T2-Mie-1.pdf](http://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE_T2-Mie-1.pdf)
- Direct Industry (s.f). *Catálogo de Correntómetros*. Recuperado de <https://pdf.directindustry.es/pdf/seba-hydrometrie-gmbh-co-kg/seba-sistemas-moviles-medicion-caudal/63216-809007.html#open>
- El Mundo CR (2020). *Defensoría elevó ante Sala IV situación de agua en Llanos de Santa Lucía de Paraíso*. Recuperado de <https://www.elmundo.cr/costa-rica/defensoria-elevo-ante-sala-iv-situacion-de-agua-en-llanos-de-santa-lucia-de-paraiso/>
- Enshassi, A; Bernd Kochendoerfer, B; Rizq, E. (2014). *Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción*. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732014000300002#:~:text=La%20construccion%20contribuye%20a,emisiones%20de%20VOC%20y%20CFC.](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732014000300002#:~:text=La%20construccion%20contribuye%20a,emisiones%20de%20VOC%20y%20CFC.)
- Gaviria, L; Pino, M; Soto, S. (2016). *Evaluación de la Gestión de la Asada de Río Macho de Orosi, Paraíso; desde una perspectiva del uso sostenible del Recurso Hídrico*. Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7003>

- Hirano, H. (1991). *Poka-yoke: Mejorando la Calidad del Producto Evitando los Defectos*. Recuperado de [https://books.google.es/books?id=8FIPEAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=8FIPEAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (s.f.). *Glosario de Conceptos*. Recuperado de <https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Glosario%20Formulario%20Unificado.pdf>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1992). Manual de aforos. Recuperado de [http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/971/IMTA\\_028.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/971/IMTA_028.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático de Guatemala (2017). *Manual de Medición de Caudales*. Recuperado de <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University, USA.
- Lean Construction Institute (s.f.). *Lean Construction Institute*. Recuperado de <https://www.leanconstruction.org/>
- Mario Basán Nickisch (2020). *Aforadores de corrientes de agua*. Recuperado de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-curso\\_aforadores\\_de\\_agua.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-curso_aforadores_de_agua.pdf)
- Mata, E (2019). *Diputada llama a cuentas a Municipalidad por falta de agua en Paraíso*. Recuperado de <https://www.pulsocr.com/diputada-llama-a-cuentas-a-alcaldesa-por-falta-de-agua-en-paraíso/>
- Ministerio de Ambiente y Energía (2004). *Manual de Dotaciones de Agua para Calcular las Necesidades de las Solicitudes de Aprovechamiento de Aguas*. Recuperado de <http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL-DE-DOTACIONES-AGUA.pdf>
- Municipalidad de Paraíso (2020). *Mantenimiento de Nacientes*
- Municipalidad de Paraíso (2020). *Manual de Perfiles de Puestos*
- Municipalidad de Paraíso (2020). *Plan Maestro de Mejora del Sistema del Acueducto Municipal*
- Municipalidad de Paraíso (2020). *Reglamento para la Operación y Administración del Acueducto de la Municipalidad*
- National Productivity Corporation (2005). *5s Guidebook: Step-by-step Implementation*. Kuala Lumpur, Malasia.
- NV Tecnologías (s.f.). *¿Cómo funcionan los macromedidores de agua?* Recopilado de <https://blog.nvtecnologias.com/como-funcionan-macromedidores-agua>
- Organización Meteorológica Mundial (2008). *Guía de prácticas hidrológicas*. Recuperado de [http://www.whycos.org/chy/guide/168\\_Vol\\_I\\_es.pdf](http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_I_es.pdf)
- Organización Meteorológica Mundial (2010). *Manual on Stream Gauging*. Recuperado de [http://www.wmo.int/pages/prog/hwrr/publications/stream\\_gauging/1044\\_Vol\\_I\\_en.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/hwrr/publications/stream_gauging/1044_Vol_I_en.pdf)
- Porras H., Sánchez O., Galvis J. (2014). *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual*. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Real Academia Española (2017). *Diccionario de la Lengua Española (2001)* Recuperado de 2020 de <https://www.rae.es/drae2001/volumen>
- Reyes, J. (2020). *Gemba Walk: Mira, escucha, pregunta y aprenderás*. Recuperado de <https://www.leanconstructionmexico.com>.

mx/post/gemba-walk-mira-escucha-pregunta-y-aprender%C3%A1s

Rojas (s.f.). *Elaboración de un Manual de Procedimientos para la Municipalidad de San Carlos (Tesis de grado)*. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos.

Porras H., Sánchez O., Galvis J. (2014). *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual*. Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Real Academia Española (2017). *Diccionario de la Lengua Española (2001)* Recuperado de 2020 de <https://www.rae.es/drae2001/volumen>

Reyes, J. (2020). *Gemba Walk: Mira, escucha, pregunta y aprenderás*. Recuperado de

<https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/gemba-walk-mira-escucha-pregunta-y-aprender%C3%A1s>

Rojas (s.f.). *Elaboración de un Manual de Procedimientos para la Municipalidad de San Carlos (Tesis de grado)*. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos.

Zander, D. (2011). *Análisis de la aplicación de la construcción flexible a las diferentes fases del proyecto* (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica, San Pedro. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3488/1/33300.pdf>