

Suministro intermitente en el contexto de esfuerzos por mejorar el abastecimiento de agua potable en América Latina y el Caribe

Lecciones de un estudio de caso
en Arraiján, Panamá

Dra. Kara L. Nelson
John Erickson
Edición: Alejandra Perroni, Stefan Buss,
Gustavo Adolfo Martínez, Coral Fernandez
Illescas

División de Agua
y Saneamiento

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-1137

Suministro intermitente en el contexto de esfuerzos por mejorar el abastecimiento de agua potable en América Latina y el Caribe

Lecciones de un estudio de caso
en Arraiján, Panamá

Dra. Kara L. Nelson

John Erickson

Edición: Alejandra Perroni, Stefan Buss,
Gustavo Adolfo Martínez, Coral Fernandez Illescas

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
y Blum Center para Economías en Desarrollo

Universidad de California, Berkeley

Enero 2017

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Nelson, Kara L.

Suministro intermitente en el contexto de esfuerzos por mejorar el abastecimiento de agua potable en América Latina y el Caribe: lecciones de un estudio de caso en Arraiján, Panamá / Kara L. Nelson.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1137)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Water-supply-Latin America-Management. 2. Water-supply-Caribbean Area-Management. 3. Water quality management-Latin America. 4. Water quality management-Caribbean Area. 5. Drinking water-Latin America. 6. Drinking water-Caribbean Area. I. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. II. Título. III. Serie.

IDB-TN-1137

JEL code: Q25 Q28 Q20 Q54 Q44 O18 O19

Palabras Clave: agua, agua potable, servicio intermitente, calidad de agua, monitoreo, Panamá, América Latina y el Caribe

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2017 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Suministro Intermitente

EN EL CONTEXTO DE ESFUERZOS POR MEJORAR
EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

LECCIONES DE UN ESTUDIO DE CASO EN ARRAIJÁN, PANAMÁ

**Dra. Kara L. Nelson
John Erickson**

*Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
y Blum Center para Economías en Desarrollo*

Universidad de California, Berkeley



Tabla de contenidos

Resumen Ejecutivo	5
Agradecimientos	6
<hr/>	
1. La importancia de tener en cuenta el suministro intermitente	7
1.1. El IWS en América Latina y el Caribe	8
1.2. El IWS es incómodo y costoso para los usuarios	8
1.3. El IWS puede degradar la calidad del agua y reducir la confianza de los usuarios en el agua corriente	9
1.4. A menudo, el IWS se relaciona con otras deficiencias del sistema de distribución de agua potable	10
2. Lecciones de un caso de estudio de IWS en Arraiján, Panamá	11
2.1 Descripción de la zona del estudio: Arraiján, Panamá	12
2.2. Métodos de investigación	14
2.3. Resultados	16
2.4. Lecciones aprendidas del estudio de Arraiján y su comparación con Hubli-Dharwad	21
3. Marco de consideraciones de IWS en esfuerzos por mejorar el servicio de agua potable en América Latina y el Caribe	27
3.1. Métodos de monitoreo para diagnosticar y mejorar IWS	28
3.2. Oportunidades para mejorar la calidad del servicio en sistemas IWS	29
4. Conclusiones	30

Resumen ejecutivo

Es importante tener en cuenta las características y los efectos del servicio intermitente de agua potable (IWS, por sus siglas en inglés), frecuentemente presente en América Latina y el Caribe, cuando se consideran los esfuerzos por suministrar agua potable corriente segura, confiable y sostenible.

Además de incómodo para los usuarios el servicio intermitente es poco seguro para la calidad del agua, y a menudo está relacionado con otras deficiencias del sistema de distribución de agua potable.

Se llevó a cabo un estudio de caso del sistema de distribución intermitente de agua potable en Arraiján, Panamá, un área periurbana de rápida expansión al oeste de la Ciudad de Panamá. Presión, caudal, turbiedad y cloro fueron monitoreados constantemente en cuatro zonas del sistema que contaban con diferentes condiciones de suministro. Se tomaron muestras de calidad del agua en estaciones de monitoreo continuo y grifos domésticos para analizar turbiedad, cloro e indicadores bacterianos. Asimismo, se analizaron 3 años de registros de reparaciones de tuberías para establecer tasas de rotura en diferentes áreas del sistema de distribución.

El monitoreo de la presión mostró que los horarios de suministro en áreas intermitentes eran inconsistentes e impredecibles, detectando presiones negativas que representan un riesgo para la calidad del agua. En condiciones normales de suministro, la calidad del agua en las zonas de estudio cumplía con los estándares panameños de turbiedad, coliformes totales y bacterias *E. coli*, así como con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud respecto a cloro libre residual, si bien en ocasiones se degradaba cuando se realizaba la primera descarga a partir del restablecimiento luego de una interrupción del suministro. En términos generales, la calidad del agua resultó muy superior en las zonas IWS de Arraiján en comparación con los resultados de monitoreo de calidad del agua de áreas IWS en Hubli-Dharwad, India, previamente publicados. El caudal per cápita que ingresaba a las zonas de estudio era alto y constante durante la noche, lo que sugiere importantes pérdidas. Los índices de rotura de tuberías variaban ampliamente entre zonas. Si bien no fue posible establecer una relación

general entre suministro intermitente e índices de rotura elevados, el bombeo intermitente sí fue asociado a los mayores índices de rotura.

Los resultados del caso de estudio de Arraiján, comparados con aquellos arrojados por el estudio en Hubli-Dharwad (India), que utilizó métodos similares, demuestran que la naturaleza y gravedad del IWS y sus efectos varían sustancialmente entre y dentro de los sistemas de distribución. Los resultados de Arraiján también señalan que las técnicas de monitoreo avanzadas ofrecen oportunidades para el diagnóstico de problemas en sistemas con IWS y para la mejora de su gestión.

A partir de las lecciones aprendidas en Arraiján y otros informes disponibles, se propone un marco para considerar el IWS en los esfuerzos por mejorar el servicio de agua potable en ALC. El IWS es inherentemente complejo, y los esfuerzos por mejorarlo o evitarlo deben comenzar por esfuerzos por comprenderlo en contextos específicos. Los métodos de monitoreo hidráulico y de calidad de agua específicos de IWS, pueden servir para diagnosticar servicios intermitentes y ofrecer guías de mejoras eficientes para los servicios y para la calidad del agua. Sumados a las mejores prácticas para sistemas de distribución continua (por ejemplo, mantener suficiente presión y cloro residual durante períodos de suministro), mejor manejo de tiempos de suministro, regímenes de presiones y agua de primera descarga, tienen el potencial de mejorar la calidad del servicio en sistemas con IWS. Tales medidas de gestión pueden considerarse complementarias o en reemplazo de inversiones en infraestructura más costosas para aumentar la capacidad del sistema de distribución e incrementar la producción de agua.

Agradecimientos



Estamos en deuda con cantidad de personas e instituciones que han contribuido con este proyecto.

Este no hubiera sido posible sin la participación y permiso del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) de Panamá. Queremos agradecer especialmente a la Ing. Yamileth Quintero, Gerente Regional de IDAAN en Arraiján, por su apoyo constante a lo largo del proyecto a pesar de que tenía muchos otros asuntos urgentes por atender; a Mauro Romero, Luis Navarro, Higinio Domínguez, Cesar Bustamante, y Alcibiades Muñoz por sus explicaciones acerca de la red de distribución de Arraiján y por coordinar el apoyo de IDAAN en el campo; a la Lic. Teodora de Lezcano, Rosemary Quirós y Jessica Batista por facilitarnos el uso del laboratorio de IDAAN en Panamá Oeste y compartir pacientemente sus conocimientos en técnicas de laboratorio; a Agustín Miranda por crear las cajas de metal que protegieron al equipo de monitoreo; y al resto del equipo de IDAAN en Arraiján, La Chorrera y la oficina central, quienes apoyaron el proyecto.

Este proyecto tampoco hubiera sido posible sin la ayuda de muchos residentes de Arraiján que nos abrieron las puertas de sus casas para mantener entrevistas y permitir que tomáramos muestras de agua.

Carlos González y Javier Agrazal de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) reunieron una gran proporción de las muestras de agua y datos para el proyecto. Su participación fue coordinada por la Prof. María Lourdes Peralta de la UTP. Joshua Kennedy y Karina Chavarría de la UC Berkeley también colaboraron en el trabajo de campo.

El Dr. Amador Goodridge junto al Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT) ofreció su espacio y equipos en su laboratorio. La Lic. Dilcia Sambrano del INDICASAT nos brindó asesoramiento técnico en cuanto al análisis microbiológico.

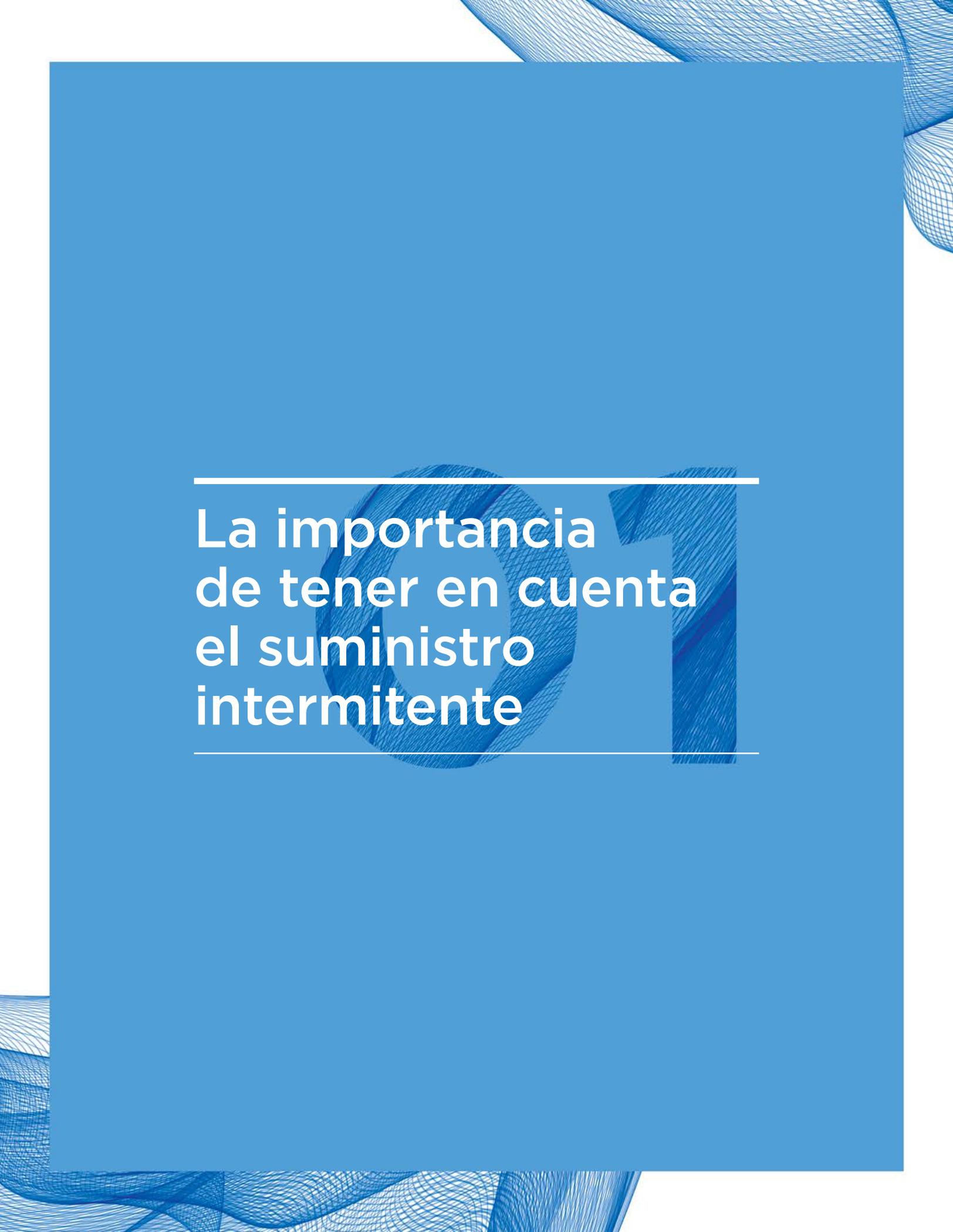
La Dr. Charlotte Smith de UC Berkeley, Reinhard Sturm de Water Systems Optimization, y Paul West de Smart Water Systems nos entregaron directrices invaluable de aspectos técnicos del proyecto.

Maryanne McCormick y Heather Lofthouse del Blum Center para Economías en Desarrollo ayudaron a establecer la colaboración con el BID.

María Alejandra Perroni y Stefan Buss del BID ofrecieron consejos durante el proyecto y comentarios útiles sobre el informe, y el Dr. Fernando Miralles-Wilhelm apoyó el lanzamiento del proyecto. Gustavo Martínez, de la Oficina de Panamá del BID, nos brindó aportes útiles durante su planificación.

Además de la financiación principal del BID, este proyecto fue apoyado financieramente con becas para John Erickson del US National Science Foundation (NSF) (Graduate Research Fellowship), USAID (Research and Innovation Fellowship), American Water Works Association (Mueller Systems Scholarship), y UC Berkeley Center for Emerging and Neglected Diseases (Science and Engineering for Global Health Fellowship); una subvención inicial del Blum Center for Developing Economies (UC Berkeley), y financiamiento de la NSF (OISE-1031194) a través del programa "International Research Experiences for Students".





La importancia de tener en cuenta el suministro intermitente

El servicio de agua potable intermitente (IWS) puede definirse como agua potable corriente que se encuentra a disposición de los usuarios menos de 24 horas al día, siete días a la semana.¹

El IWS puede ser consecuencia de recursos de agua insuficientes, infraestructura inadecuada, consumo desmesurado por parte de los usuarios, pérdidas excesivas en la red de distribución, o una combinación de esos factores.² El crecimiento urbano no planificado y la expansión no sistemática de redes de distribución de agua potable que lo acompañan, son con frecuencia causas subyacentes del IWS.³ En esta sección, se indican las razones por las que comprender el IWS es fundamental para mejorar el suministro de agua potable en América Latina y el Caribe (ALC), dados: i) su presencia frecuente en la región; ii) su inconveniencia para los usuarios; iii) sus potenciales efectos sobre la calidad del agua y iv) su interrelación con otros factores críticos para la sostenibilidad y la eficiencia operativa de un sistema de agua potable. Luego, en la Sección 2, se presentan lecciones aprendidas del caso de estudio de un sistema con IWS en Arraiján, Panamá y comparaciones entre ese sistema y uno en Hubli-Dharwad, Karnataka, India. Finalmente, en la Sección 3 se propone un marco para tener en cuenta el IWS en los esfuerzos por ofrecer un servicio de agua potable seguro, confiable y sostenible en América Latina y el Caribe.

1.1 El IWS en América Latina y el Caribe

La información disponible sugiere que el suministro de agua intermitente es un problema muy común en ALC. Según estadísticas preparadas por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente el 60% de las viviendas con conexión a agua corriente en ALC tenían suministros intermitentes en 2001.⁴

Una encuesta conducida por el Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento (SNIS)⁵ de Brasil en 2011, arrojó que alrededor del 40% de los hogares con conexiones a agua corriente en todo el país, sufrían algún tipo de intermitencia en el servicio a lo largo del año.

Según una encuesta de viviendas en nueve importantes ciudades mexicanas realizada en 2010, el 40% de los encuestados dijo que el servicio se interrumpía “ocasionalmente” o “con frecuencia”.⁶

1.2 El IWS es incómodo y costoso para los usuarios

Un suministro intermitente es inconveniente y puede resultar costoso para los usuarios, que deben ajustar el uso del servicio a los horarios o invertir en tanques de almacenamiento.⁷ Estos inconvenientes podrían reducir su voluntad de pagar el servicio. Un estudio realizado en Hubli-Dharwad, ciudades hermanadas en India, encontró que los usuarios que tenían un suministro intermitente gastaban una significativa cantidad de dinero en tanques y contenedores de almacenamiento, así como en bombas para extraer el agua de la red de distribución. También invertían gran cantidad de tiempo para extraer agua de otras fuentes, esperando que el agua llegara, y luego recojiéndola.⁸ Los resultados de este estudio indicaron que cuando el suministro de agua es intermitente, los usuarios prefieren que al menos los períodos de suministro sean predecibles, extensos y más frecuentes⁹ (el suministro promedio informado en Hubli-Dharwad era de 5 horas cada 6 días¹⁰). El IWS también puede dificultar la equidad entre usuarios. A menudo, aquellos que se encuentran a una menor elevación son capaces de recoger más agua por recibirla antes y a mayor presión que aquellos en zonas altas.¹¹

¹Asociación Internacional del Agua (IWA), “Intermittent Water Supply,” consultado el 25 de junio de 2016, <http://www.iwa-network.org/task/intermittent-water-supply-iws>.

²Philipp Klingel, “Technical Causes and Impacts of Intermittent Water Distribution,” *Water Science & Technology: Water Supply* 12, no. 4 (julio 2012): 504, doi:10.2166/ws.2012.023.

³Ibid. ⁴Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud, “Regional Report on the Evaluation 2000 in the Region of the Americas,” 2001. ⁵<http://www.snis.gov.br/> ⁶BID, “Complete Results (in Spanish) of Mexico Bottled Water Survey,” julio de 2012, <http://www.iadb.org/document.cfm?id=36984661>.

⁷Arthur C. McIntosh, Banco Asiático de Desarrollo y Asociación Internacional del Agua, *Asian Water Supplies: Reaching the Urban Poor: A Guide and Sourcebook on Urban Water Supplies in Asia for Governments, Utilities, Consultants, Development Agencies, and Nongovernment Organizations* (Manila, Filipinas : Londres: Banco Asiático de Desarrollo ; Asociación Internacional del Agua, 2003).

⁸Zachary Burt et al., “Costs and Benefits of an Upgrade to Continuous Water Service in Hubli-Dharwad, India” (2015 Conferencia de Agua y Salud, Universidad de North Carolina en Chapel Hill, 26 de octubre de 2015).

⁹Zachary Burt, M VanGordon, and A Vij, “Continuous Piped Water or Improved Intermittency? Willingness to Pay for Improved Piped Water Services in Hubli-Dharwad, India” (11th Reunión Anual del Consorcio Internacional de Recursos Económicos del Agua (IWREC), Oficina central del Banco Mundial, Washington, D.C., 7 de septiembre de 2014).

¹⁰Emily Kumpel y Kara L. Nelson, “Mechanisms Affecting Water Quality in an Intermittent Piped Water Supply,” *Environmental Science & Technology* 48, no. 5 (4 de marzo de 2014): 2766-75, doi:10.1021/es405054u.

¹¹C. M. Fontanazza, G. Freni, y G. La Loggia, “Analysis of Intermittent Supply Systems in Water Scarcity Conditions and Evaluation of the Resource Distribution Equity Indices,” vol. 1 (WIT Press, 2007), 635-44, doi:10.2495/WRM070591; Kala Vairavamoorthy, Sunil Gorantiwar, y S. Mohan, “Intermittent Water Supply under Water Scarcity Situations,” *Water International* 32, no. 1 (March 2007): 121-32, doi:10.1080/02508060708691969.

1.3 El IWS puede degradar la calidad del agua y reducir la confianza de los usuarios en el agua corriente

El suministro intermitente se considera un riesgo para la calidad microbiológica del agua, debido a:

- i) la intrusión de aguas subterráneas contaminadas a través de roturas en las cañerías subterráneas o el reflujos de aguas contaminadas a través de conexiones de los usuarios durante los períodos de presión baja y/o negativa;¹²
- ii) el potencial de crecimiento de microorganismos en el agua y biopelículas en las paredes de las tuberías cuando no hay consumo y el agua se estanca en las mismas;¹³
- y iii) contaminación y crecimiento microbiano durante el almacenamiento doméstico.¹⁴

Una revisión crítica reciente examinó estos mecanismos y los resultados de investigaciones previas acerca de la calidad microbiana del agua en sistemas intermitentes.¹⁵ Estudios realizados en India,¹⁶ Palestina,¹⁷ y Líbano¹⁸ han hallado evidencias del deterioro de la calidad del agua a través de la red de distribución o durante el almacenamiento doméstico en servicios intermitentes, aunque algunos de estos informes se basaron en muestras muy acotadas y/o sólo demostraban una creciente concentración del recuento de placas heterotróficas (HPC, por sus siglas en inglés), que no representan necesariamente un riesgo para la salud.

En Mérida, México, un informe arrojó que **el 95% de las 383 muestras tomadas de agua que ingresaba a los hogares cumplía con los estándares de calidad bacteriológica, pero que solamente el 74% de las muestras de grifo, en los mismos hogares, los cumplía.**¹⁹ Esta diferencia fue atribuida a la degradación de la calidad del agua en los tanques de almacenamiento domésticos. El suministro intermitente se ha relacionado con un brote de fiebre tifoidea

en Tayikistán,²⁰ un brote de fiebre paratifoidea en India,²¹ e índices de diarrea en una ciudad en Uzbekistán.²² Un reciente informe y meta-análisis evaluando el impacto de las deficiencias de los sistemas de distribución sobre enfermedades gastrointestinales, encontró que los cortes temporarios y crónicos de agua bajo IWS se encontraban asociados a enfermedades gastrointestinales.²³

Otro componente de la investigación en Hubli-Dharwad previamente mencionada, se centró en los efectos de IWS sobre la calidad del agua. Se encontró que muestras de las zonas de la red con mayor intermitencia, estaban más frecuentemente contaminadas con indicadores de bacterias fecales (coliformes totales y *E. coli*) que aquellas muestras tomadas en partes del sistema en que las cañerías de distribución habían sido reemplazadas y se había adoptado un suministro continuo.²⁴ En áreas intermitentes, se encontró mayor contaminación en aguas de grifos domésticos que en aguas de reservorios aguas arriba, con una mayor incidencia de contaminación durante la época de lluvias. En las zonas intermitentes, había más contaminación tras la primera descarga, al comenzar el suministro, y durante períodos de baja presión.²⁵

En algunos casos, el IWS puede reducir la confianza del usuario en la calidad del agua.

Una encuesta de viviendas en nueve importantes ciudades mexicanas, realizada en 2010,²⁶ arrojó que el 58% de los encuestados consideró que el agua de sus grifos no era segura para beber. Del 35% de los encuestados que puntuó la calidad de su agua en 7 o menos, en una escala de 1 a 10, el 60% dijo que el agua se había contaminado en el trayecto entre la planta de tratamiento y su hogar. Aunque no queda claro que estos usuarios hayan estado considerando riesgos específicamente asociados al IWS, está claro que no confiaban en el sistema de distribución. Un 17% adicional de los encuestados dijo que el agua se contaminaba en los tanques de almacenamiento en sus viviendas, que guardan una relación estrecha con el IWS.

¹² Marie-Claude Besner et al., "Pressure Monitoring and Characterization of External Sources of Contamination at the Site of the Payment Drinking Water Epidemiological Studies," *Environmental Science & Technology* 44, no. 1 (January 2010): 269-77, doi:10.1021/es901988y; Ashok Gadgil, "Drinking Water in Developing Countries," *Annual Review of Energy and the Environment* 23, no. 1 (1998): 253-86, doi:10.1146/annurev.energy.23.1.253; Ellen J. Lee and Kellog J. Schwab, "Deficiencies in Drinking Water Distribution Systems in Developing Countries," *Journal of Water and Health* 3, no. 2 (2005): 109-27. ¹³ S.T. Coelho et al., "Controlling Water Quality in Intermittent Supply Systems," *Water Supply* 3, no. 1-2 (2003): 119-25. ¹⁴ Ibid.; Lee y Schwab, "Deficiencies in Drinking Water Distribution Systems in Developing Countries." ¹⁵ Emily Kumpel y Kara L. Nelson, "Intermittent Water Supply: Prevalence, Practice, and Microbial Water Quality," *Environmental Science & Technology* 50, no. 2 (19 de enero de 2016): 542-53, doi:10.1021/acs.est.5b03973. ¹⁶ P.S. Kelkar et al., "Water Quality Assessment in Distribution System under Intermittent and Continuous Modes of Water Supply," *Journal of Indian Water Works Association*, marzo 2001, 39-43; Daniel Elala, Pawan Labhasetwar, y Sean F. Tyrrel, "Deterioration in Water Quality from Supply Chain to Household and Appropriate Storage in the Context of Intermittent Water Supplies," *Water Science & Technology: Water Supply* 11 (septiembre 2011): 400, doi:10.2166/ws.2011.064. ¹⁷ Coelho et al., "Controlling Water Quality in Intermittent Supply Systems." ¹⁸ S. Tokajian y F. Hashwa, "Water Quality Problems Associated with Intermittent Water Supply," *Water Science and Technology* 47, no. 3 (2003): 229-34. ¹⁹ Javier J. Flores-Abuxapqui et al., "Calidad Bacteriológica Del Agua Potable En La Ciudad de Mérida, Yucatán," *Revista Biomédica* 6, no. 3 (1995): 127-34. ²⁰ Jonathan H. Mermin et al., "A Massive Epidemic of Multidrug-Resistant Typhoid Fever in Tajikistan Associated with Consumption of Municipal Water," *The Journal of Infectious Diseases* 179, no. 6 (junio 1999): 1416-22, doi:10.1086/314766. ²¹ Arti Kapil et al., "Letter to the Editor," *Emerging Infectious Diseases* 3 (1997): 407. ²² J.C. Semenza et al., "Water Distribution System and Diarrheal Disease Transmission: A Case Study in Uzbekistan," *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 59, no. 6 (1998): 941-46. ²³ Ayse Ercumen, Joshua S. Gruber, and John M. Colford, "Water Distribution System Deficiencies and Gastrointestinal Illness: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Environmental Health Perspectives*, 21 de marzo de 2014, doi:10.1289/ehp.1306912. ²⁴ Emily Kumpel y Kara L. Nelson, "Comparing Microbial Water Quality in an Intermittent and Continuous Piped Water Supply," *Water Research* 47, no. 14 (septiembre de 2013): 5176-88, doi:10.1016/j.watres.2013.05.058. ²⁵ Kumpel y Nelson, "Mechanisms Affecting Water Quality in an Intermittent Piped Water Supply."

1.4 A menudo, el IWS se relaciona con otras deficiencias del sistema de distribución de agua potable

El IWS puede ser causa y/o consecuencia de otros problemas importantes en los sistemas de distribución de agua potable.²⁷ A veces se puede crear un ciclo vicioso, donde una deficiencia que contribuye al IWS también es exacerbada por el IWS.

Por ejemplo, altos índices de pérdidas de agua a menudo devienen en problemas de IWS,²⁸ y a la vez el IWS puede dificultar las mediciones y gestión efectiva de pérdidas de agua. En sistemas intermitentes, las estrategias tradicionales de detección de pérdidas son difíciles de aplicar²⁹ y las mediciones de consumo pueden ser más imprecisas.³⁰

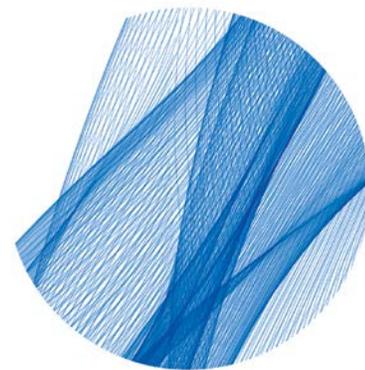
El IWS también puede ser causa y efecto de los daños a la infraestructura de las tuberías. Se ha propuesto que oscilaciones de presión (aumentos o bajas abruptas transitorias) en IWS pueden aumentar el desgaste de las cañerías de distribución, conduciendo a mayores índices de pérdidas y roturas de tuberías.³¹ En una red de distribución en Chipre, el índice de rotura aumentaba cuando el IWS se implementaba temporalmente durante sequías.³² Los golpes de ariete, producto del arranque o detención de bombas, u operaciones de válvulas, pueden derivar en presiones excesivamente altas o negativas que rompan los caños.³³ Las bolsas de aire que quedan atrapadas en las tuberías al cortarse el suministro, también pueden generar presiones excesivas cuando este se restablece.³⁴ En el sentido contrario, las roturas de tuberías en la red de distribución resultan en interrupciones del suministro que contribuyen al IWS.

El insuficiente conocimiento del sistema, como por ejemplo la ubicación de las tuberías, contribuye a operaciones ineficientes y a un IWS.³⁵ Recíprocamente, el IWS a menudo impide conocer el sistema de distribución y operarlo racionalmente. Los métodos de modelado hidráulico utilizados en sistemas de suministro continuo no logran representar

algunas de las complejidades del suministro intermitente.³⁶

Sin modelos hidráulicos, es difícil tomar decisiones operativas y de planificación informadas. A su vez, los esfuerzos por mejorar el servicio y distribuir equitativamente el agua bajo un sistema IWS pueden resultar en una red mucho más compleja que carezca de un concepto de diseño integral y resulte aún más difícil de administrar.³⁷ Adicionalmente, las crisis operativas asociadas con el IWS pueden monopolizar el tiempo y recursos de las entidades operadoras, impidiéndoles ocuparse de las causas originales del IWS y mejorar la calidad del servicio.

El IWS también puede estar vinculado con problemas institucionales. Los IWS reducen la calidad del servicio y desgastan no sólo la voluntad de pago de los usuarios sino también su confianza en el servicio, tanto a nivel institucional como de la calidad del agua que reciben. Así pueden contribuir a los “equilibrios de bajo nivel” descritos por Savedoff y Spiller en “Agua Perdida”.³⁸ El equilibrio de bajo nivel descrito por Savedoff y Spiller es un equilibrio político-económico, donde los usuarios no tienen suficiente confianza en los prestadores de servicio para pagar una tarifa sostenible y los prestadores de servicio no tienen un incentivo político para cobrarla. Sin embargo, por los mecanismos detallados anteriormente, puede ser que el IWS es parte de otro equilibrio de bajo nivel más técnico, donde es difícil controlar adecuadamente un sistema intermitente, pero es difícil proveer un suministro continuo con un sistema que no está bien controlado.



²⁶BID, “Complete Results (in Spanish) of Mexico Bottled Water Survey.” ²⁷Galaitis, S., Robert Russell, Amahl Bishara, John Durant, Jennifer Bogle, and Annette Huber-Lee. 2016. “Intermittent Domestic Water Supply: A Critical Review and Analysis of Causal-Consequential Pathways.” *Water* 8 (7): 274. doi:10.3390/w8070274. ²⁸G. Yepes, K. Ringskog, y S. Sarkar, “The High Cost of Intermittent Water Supplies,” *Journal of Indian Water Works Association* 33, no. 2 (2001). ²⁹Avadhesh Kumar, “Management of Intermittent Supplies,” 18th WEDC Conference, Water, Environment and Management, Kathmandu, Nepal, 1992. ³⁰A. Criminisi et al., “Evaluation of the Apparent Losses Caused by Water Meter under-Registration in Intermittent Water Supply,” *Water Science & Technology* 60, no. 9 (noviembre 2009): 2373, doi:10.2166/wst.2009.423. ³¹Bambos Charalambous, “The Hidden Costs of Resorting to Intermittent Supplies,” *Water21, IWA*, diciembre 2011. ³²S. Christodoulou y A. Agathokleous, “A Study on the Effects of Intermittent Water Supply on the Vulnerability of Urban Water Distribution Networks,” *Water Science & Technology: Water Supply* 12, no. 4 (julio 2012): 523, doi:10.2166/ws.2012.025. ³³Paul F. Boulou et al., “Hydraulic Transient Guidelines for Protecting Water Distribution Systems,” *Journal AWWA* 97, no. 5 (mayo 2005): 111-24. ³⁴Rajiv Batish, “A New Approach to the Design of Intermittent Water Supply Networks” (ASCE, Congreso Mundial del Agua, 2003). ³⁵Klingel, “Technical Causes and Impacts of Intermittent Water Distribution.” ³⁶N. Sashikumar, M.S. Mohankumar, y K. Sridharan, “Modelling an Intermittent Water Supply” (ASCE, Congreso Mundial del Agua, 2003). ³⁷Klingel, “Technical Causes and Impacts of Intermittent Water Distribution.” ³⁸Spiller, P., William, S., *Agua perdida: compromisos institucionales para el suministro de servicios públicos sanitarios.* (Washington D.C: Banco Interamericano de Desarrollo, 2000).

Lecciones de un caso de estudio de IWS en Arraiján, Panamá

Para comprender más profundamente la naturaleza y efectos de los IWS en América Latina y desarrollar técnicas para su monitoreo y evaluación, se realizó un estudio detallado en Arraiján, Panamá, entre octubre de 2013 y agosto de 2015.

La red de agua potable de Arraiján, operada por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) fue seleccionada por motivos técnicos e institucionales. Desde un punto de vista técnico, el abanico de situaciones de suministro intermitente presentes en Arraiján, variado en gravedad y en el modo en que el IDAAN controla el suministro, ofrecía una oportunidad de evaluar los efectos de distintos tipos de IWS. Institucionalmente, IDAAN mostró interés en el proyecto desde el comienzo y ofreció su apoyo para la recolección de datos.

2.1 Descripción de la zona del estudio: Arraiján, Panamá

Arraiján es un área periurbana ubicada directamente al oeste de la Ciudad de Panamá y al este del distrito La Chorrera. **Su población ha crecido rápidamente en las últimas décadas, de 60.000 habitantes en 1990, a aproximadamente 263.000 en 2014.**³⁹

Parte de este crecimiento se debió a proyectos de desarrollo residencial planificados, y otra parte al desarrollo informal, sin legalización ni planificación.

La mayor parte del desarrollo y demanda del agua en Arraiján es residencial. En 2014, el 96,4% de los clientes registrados de IDAAN eran residenciales, lo que representaba el 79,6% del consumo de agua facturado.⁴⁰



2.1.1 El sistema de agua potable de Arraiján

La inmensa mayoría de los residentes de Arraiján recibe agua potable a través de la red de IDAAN.

Aparte de la producción de ocho pozos pequeños de IDAAN que representan solamente el 0,35% del agua que ingresa a la red, la misma se abastece de tres plantas de tratamiento que extraen agua del Canal de Panamá o sus cuencas.⁴¹ IDAAN compra el agua en bloque de la Autoridad del Canal de Panamá, que opera las plantas de tratamiento Miraflores y Mendoza, y del consorcio privado Aguas de Panamá S.A., que opera la planta Laguna Alta. Las plantas Mendoza y Miraflores también abastecen a la mayoría de La Chorrera y parte de la Ciudad de Panamá, respectivamente. Las redes de distribución de La Chorrera y Arraiján se encuentran interconectadas, pero la red de Arraiján es operada como una entidad aparte, por una oficina regional del IDAAN.

La red de distribución de Arraiján es compleja dada la extensión del área que abarca, su suministro proveniente de tres plantas de tratamiento y por la topografía, particularmente irregular en las áreas en que se centró este estudio. **Un diagnóstico realizado en 2010 identificó 504 km de tuberías en la red de Arraiján.** De estos, 431 km eran de PVC de 10" de diámetro o menores, y los 73 km restantes eran de hierro dúctil de 12" de diámetro o mayores.⁴² Empleados de IDAAN informaron que también existen pequeñas cantidades de tuberías de hierro fundido y viejos tubos de asbestocemento. Además, el sistema cuenta con 27 estaciones de bombeo y 39 tanques de almacenamiento, aunque tres de los tanques mayores se encuentran fuera de servicio.⁴³

³⁹Instituto Nacional de Estadística y Censo. "Cuadro 11: Superficie, población y densidad de población en la República, según provincia, comarca indígena, distrito y corregimiento: Censos de 1990 a 2010" y "Cuadro 44: Estimación y proyección de la población del distrito de Arraiján, por corregimiento, según sexo y edad: Años 2010-20." ⁴⁰IDAAN. Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014. http://www.idaan.gob.pa/sites/default/files/transparencia/BOLET%C3%BDN%20ESTADISTICO-No.%2028_0.pdf ⁴¹Ibid. ⁴²Louis Berger Group, "Fortalecimiento Institucional Del IDAAN a Través de Acciones de Optimización Para La Ciudad de Panamá," 2010. ⁴³Ibid.

2.1.2 Servicio deficiente a pesar del gran volumen de producción

La producción de agua promedio en de la red de Arraiján en 2014, fue 40,6 MGD, lo que equivale a una producción diaria de 155 galones per cápita.⁴⁴

De esos 155 galones, en promedio solo 73 fueron facturados a clientes, lo que implica un porcentaje de agua no facturada de 53%, que incluye pérdidas tanto físicas como comerciales.⁴⁵

Independientemente del alto nivel de producción de agua, algunos clientes de IDAAN en Arraiján reciben un servicio deficiente. Al momento del estudio, 6.420 clientes (13% del total registrado en 2014) recibieron un descuento mensual en sus facturas de agua por deficiencias en el servicio.⁴⁶ Aunque esto sea una proporción relativamente pequeña de los clientes de IDAAN, por épocas una mayor cantidad de clientes enfrenta dichas deficiencias. Por ejemplo, entre agosto de 2014 y julio de 2015, los usuarios de una gran porción de Arraiján no contaron con el suministro en aproximadamente 13 ocasiones (ocho imprevistas y cinco programadas), por roturas en tuberías, interrupciones de trabajo en las plantas de tratamiento u otros problemas operativos.⁴⁷ Dos de estos eventos tuvieron lugar porque el suministro de una de estas tres plantas de tratamiento se encontró suspendido durante más de 24 horas.⁴⁸

Algunas zonas tienen deficiencias de suministro crónicas causadas por:

1) capacidad de distribución local (diámetro de las tuberías o capacidad de las bombas) insuficiente para satisfacer la demanda de agua del área; o

2) su dependencia de porciones de la red que con frecuencia pierden presión cuando la capacidad total de la red se ve superada por la demanda (por ejemplo, los domingos, en que muchos usuarios se encuentran en sus hogares) o se rompe una tubería.

Además de aquellos que obtienen un servicio deficiente, existen usuarios que no reciben agua por tubería, sino mediante camiones cisterna contratados por IDAAN.

2.1.3 Desafíos operativos

A pesar de que la red de distribución de Arraiján es bastante compleja, la oficina regional de IDAAN la administra con poca información sobre su estado actual.

Algunas de las 27 estaciones de bombeo se averían y el servicio se interrumpe con frecuencia. Aparte del equipo de monitoreo instalado para este proyecto, sólo una de las estaciones de bombeo puede ser monitoreada mediante telemetría. Para supervisar las otras, personal de IDAAN debe realizar una inspección diaria circulando en camión. Como consecuencia de la falta de capacidad de almacenamiento de la red, el déficit del suministro y las inesperadas fallas en la infraestructura, en ocasiones grandes áreas de la red se ven desabastecidas. Si tales interrupciones se prolongan, los operadores deben manipular válvulas para enviar agua, por turnos, a diferentes sectores de la red.

Como parte de un proyecto de 2010, la red de Arraiján fue dividida en ocho sectores, con 15 estaciones de monitoreo de presión y caudal ubicadas en puntos en que los sectores se conectan al resto de la red.⁴⁹ Al finalizar el proyecto, todas las estaciones de medición funcionaban y se calculaban los balances hídricos de diferentes sectores. Al momento de este informe, sin embargo, solamente algunos de los sensores seguían funcionando, y el equipo de telemetría original que cargaba la información en internet estaba fuera de servicio. Por tanto, IDAAN no ha podido actualizar los balances de agua de los ocho sectores.⁵⁰

Las tuberías de la red de Arraiján sufren roturas frecuentes. Durante 2014, los equipos operativos de IDAAN repararon 604 roturas de tuberías de 2" de diámetro o mayores (1,46 roturas por km por año).⁵¹ A pesar de que este índice coloca al sistema de IDAAN en Arraiján cercano al promedio de 13 servicios de América Latina que participaron de un informe regional de benchmarking,⁵² se encuentra muy por encima del promedio de 0,068 roturas por kilómetro por año de un informe de 188 servicios en EEUU y Canadá.⁵³ A menudo, las reparaciones se complican por la carencia de información sobre la

⁴⁴Datos de producción de IDAAN, Departamento de Distribución y Control de Pérdidas, Sección de Macromedición. La población abastecida en 2014 era de 262.517 habitantes, según IDAAN, Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014. ⁴⁵El volumen facturado proviene de: IDAAN, Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014. El mismo documento estima un índice de agua no contabilizado del 42,2%, pero aparentemente los cálculos no contemplaron 9,3 MGD que Arraiján obtiene a partir de la planta de tratamiento Mendoza. ⁴⁶Cifra tomada de la lista de clientes de IDAAN. Una encuesta a los usuarios como parte del proyecto de fortalecimiento institucional realizada en 2010 (Louis Berger Group, Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá.) encontró que 443 clientes (0,8%) eran abastecidos por camiones cisterna y solamente 1.285 (2,6% de aquellos que poseían agua corriente) recibían un servicio intermitente, pero el informe no detallaba el criterio utilizado para definir cuáles clientes recibían un servicio intermitente. ⁴⁷Comunicación personal con la gerencia regional de IDAAN en Arraiján. ⁴⁸Según registros llevados por la gerencia regional de IDAAN en Arraiján.

configuración de la red de distribución y la escasez de válvulas de control. El equipo de reparaciones puede perder tiempo buscando determinar cómo despresurizar el sector dañado. En ocasiones, debido a la ausencia de válvulas de control, IDAAN debe interrumpir el servicio en un sector mayor para despresurizar el área cercana al daño.

El personal lleva un registro de operación de válvulas y de bombas, así como de sus reparaciones, entre otros eventos operativos y llena una planilla ante cada reparación. También realiza resúmenes de estos datos, por ejemplo, de cantidad de reparaciones de tuberías de cada diámetro al mes. Esta información puede resultar útil para análisis más detallados, por ejemplo, para comprender qué zonas tienen los índices de roturas de tuberías más elevados y qué podría estar causándolas. Para llevar a cabo esos análisis, sería necesario contar con personal dedicado a tales fines. Actualmente, la gerencia y personal operativo no poseen la capacidad de realizarlo; dedican gran parte de su tiempo a la reparación de tuberías y a lidiar con las interrupciones del suministro.

2.1.4 Monitoreo de la calidad del agua

IDAAN toma muestras de calidad de agua en diferentes puntos de la red de distribución, siguiendo los lineamientos de la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), agencia reguladora de los servicios públicos en Panamá, en cuanto a cantidad de muestras y parámetros a supervisar.

La mayoría de los puntos de muestreo son grifos comerciales y de clientes gubernamentales. Las entidades que operan las plantas potabilizadoras están a cargo de monitorear la calidad del agua en las salidas de la planta. Previo a comenzar este estudio, muchas zonas en las que el servicio era intermitente se encontraban excluidas de los puntos de muestreo de IDAAN, quizás por no haber puntos de monitoreo convenientes en dichas zonas o porque no siempre tienen agua para tomar muestras.

Ahora, con la incorporación de grifos de muestra utilizados para este proyecto, IDAAN ha aumentado el monitoreo en sectores con suministro intermitente.

2.1.5 Mejoras planificadas y continuas

IDAAN ha implementado y continúa implementando muchos cambios, con el objeto de mejorar las operaciones en Arraiján. Estas mejoras incluyen construcción de tanques de almacenamiento, aumento de la capacidad de transportar agua a zonas de la red en las que el servicio es deficiente y esfuerzos por reducir el agua no contabilizada, incluyendo la instalación de 14.000 medidores nuevos para clientes y 26 válvulas de control de presión para reducir la presión excesiva en algunas áreas.⁵⁴

La oficina regional de IDAAN en Arraiján también tiene previsto mejorar su capacidad técnica y operativa, contratando más personal operativo y planificando un sistema de telemetría para la red local.⁵⁵ Asimismo, IDAAN prevé incrementar la capacidad de tratamiento en la zona.⁵⁶

2.2 Métodos de investigación

2.2.1 Zonas de estudio

Para estudiar los efectos de los distintos tipos de suministro intermitente, se seleccionaron cuatro zonas con diferentes condiciones de suministro en Arraiján: El Cristal (CR) con servicio continuo, 7 de Septiembre (7S) con interrupciones ocasionales debidas al vaciamiento del tanque de almacenamiento, La Alameda (AL) con suministro intermitente controlado por una válvula programada para abrirse 3 días y cerrarse 3 días, y Vista Bella (VB) con suministro intermitente controlado por el arranque y detención de una estación de bombeo. Las zonas, que cuentan con 230 a 650 viviendas cada una, fueron seleccionadas en base a entrevistas con personal operativo de IDAAN, visitas de campo y entrevistas con clientes. Las mismas poseen solamente una o dos entradas hidráulicas y ninguna salida, por lo que la cantidad y calidad del agua que ingresa puede ser estimada. Se delimitaron zonas lo más extensas posible, pero que a la vez mantuvieran un régimen de suministro con características similares dentro de cada una.⁵⁷

⁴⁹Louis Berger Group, "Fortalecimiento Institucional Del IDAAN a Través de Acciones de Optimización Para La Ciudad de Panamá." ⁵⁰Comunicación personal con el personal a cargo de la división de la macromedición en el Departamento de Distribución y Control de Pérdidas de IDAAN. ⁵¹Este índice no incluye roturas de diámetros menores, roturas en las conexiones de los usuarios, o en algunas zonas de Arraiján en que la información sobre la longitud de las tuberías y sus reparaciones no se hallaba disponible. ⁵²Informe Anual - 2013 del Grupo Regional de Trabajo de Benchmarking de la Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas (ADERASA). ⁵³Folkman, Steven. "Water main break rates in the USA and Canada: A comprehensive study." Utah State University Buried Structures Laboratory. Abril 2012. ⁵⁴Comunicación personal con la gerencia regional de IDAAN en Arraiján. ⁵⁵Ibid. ⁵⁶Eric Ariel Montenegro y Aminta Bustamante, "Saneamiento de La Bahía Se Extenderá a Panamá Oeste," La Prensa, 16 de septiembre de 2015.

La **Figura 1** muestra la ubicación de las cuatro zonas de estudio en Arraiján, así como los puntos de monitoreo aguas arriba, donde se tomaron muestras para verificar la calidad del agua de las dos plantas de tratamiento que las abastecen. Los puntos de muestreo aguas arriba fueron en Loma Cova (LC, agua de la planta de Miraflores) y en la entrada a Nuevo Chorrillo (NC, agua de la planta Laguna Alta).

Las cuatro zonas se encuentran en la misma sección de la red de Arraiján, en los sectores de Loma Cova, Arraiján Cabecera y Burunga. Esta parte de Arraiján recibe agua de dos plantas potabilizadoras: Laguna Alta y Miraflores. Aunque los barrios y el desarrollo de viviendas en estos tres sectores se diferencian en términos de desarrollo urbano y suministro de agua, muchos comparten características comunes que pueden afectar el suministro. La topografía del área es irregular, generando la necesidad de estaciones de bombeo. Además, muchas viviendas son informales, no planificadas o antiguas (más de 30 años), factores que contribuyen a la complejidad de la red de distribución de agua y, a menudo, a no disponer de información acerca de sus configuraciones.

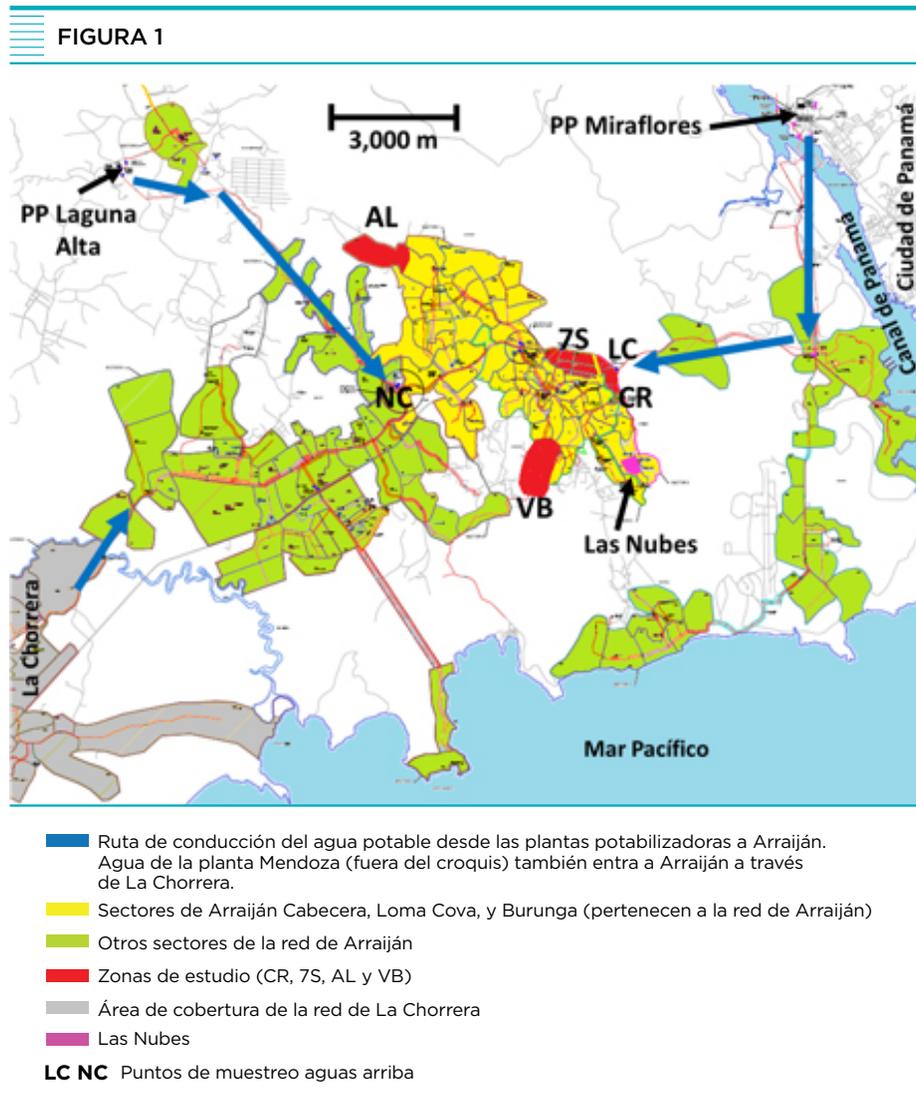


Figura 1. Ubicación de las zonas de estudio y puntos de monitoreo. A pesar de no ser una de las zonas de estudio, Las Nubes, un área en que se tomaron muestras de calidad de agua durante las primeras descargas, también se encuentra señalizada en el mapa. (Fuente: Modificada del Louis Berger Group. 2010. Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá, Anexo O, "Plano de Macromedidores").

⁵⁷ Normalmente se recomienda que las áreas de distritos de medición tengan entre 500 y 5.000 conexiones para que sean lo suficientemente pequeñas para poder detectar rupturas de tuberías y cambios de caudal, pero lo suficientemente extensas para evitar costos excesivos por tener que analizar múltiples zonas reducidas (Savić, D., y G. Ferrari. 2014. Design and Performance of District Metering Areas in Water Distribution Systems. *Procedia Engineering* 89: 1136-1143). Para el componente de la calidad de agua de este proyecto, zonas mayores también habrían incluido una mayor variedad de fuentes contaminantes y condiciones de tuberías. Sin embargo, para contar con un solo tipo de suministro en cada zona, debió realizarse en áreas pequeñas.

2.2.2 Monitoreo hidráulico y de calidad del agua

A modo de ejemplo, la **Figura 2** muestra las ubicaciones de monitoreo en 7S. Caudal⁵⁸ y presión⁵⁹ fueron monitoreados continuamente en la entrada (ENT) de cada zona. A su vez, la presión fue medida continuamente en un punto de monitoreo aguas abajo (DS por “downstream” en inglés). Los datos de presión se utilizaron para definir horarios de suministro y presiones negativas o altas en tales ubicaciones. Los datos de caudal de entrada, cantidad de viviendas en cada zona de estudio, mediciones de consumo disponibles y encuestas domésticas se utilizaron para estimar el consumo de agua y patrones de pérdidas en CR, 7S y AL.

La calidad del agua (cloro libre residual y turbiedad⁶⁰) fue monitoreada continuamente en períodos de una a cuatro semanas a la vez simultáneamente en los puntos ENT y DS, rotando los equipos de monitoreo entre las cuatro zonas. Se tomaron muestras rutinarias en las estaciones de monitoreo ENT y DS y en grifos domésticos (HH por “household” en inglés). Se tomaron series de muestras de primera descarga en estaciones de monitoreo DS y grifos domésticos (HH) durante las primeras dos horas de suministro tras alguna interrupción.

Se recogieron muestras de grifos domésticos que reciben agua directamente proveniente de la red del servicio sin pasar por tanques de almacenamiento doméstico. Se tomaron muestras de rutina entre las 7 de la mañana y las 4 de la tarde, cuando había agua. Se analizaron muestras rutinarias y de primera descarga para medir turbiedad, cloro libre residual y bacterias de coliformes totales y *E. coli*. En las muestras de primera descarga también se realizó el recuento de placas heterotróficas (HPC) y de bacterias formadoras de esporas. Adicionalmente se tomaron muestras de primera descarga en Las Nubes, otra zona de servicio intermitente en que el agua era normalmente suministrada día por medio durante dos horas por la tarde, al abrirse una válvula para liberar agua desde un tanque de almacenamiento.

También se tomaron muestras al azar de agua potable almacenada en viviendas seleccionadas aleatoriamente en las zonas de estudio.

FIGURA 2

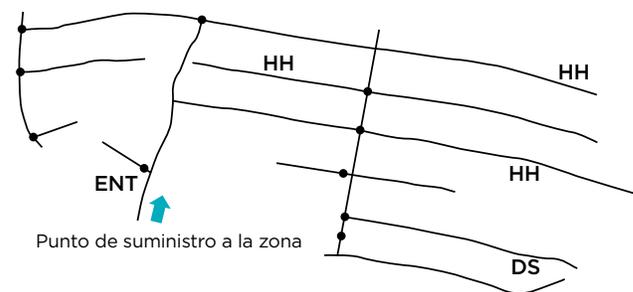


Figura 2. Esquema de 7S. “ENT” = Monitoreo continuo y toma de muestras puntuales en la estación de entrada. “DS” = Monitoreo continuo y toma de muestras puntuales en la estación de aguas abajo. “HH” = Punto de toma de muestras puntuales de grifos domésticos.

2.2.3 Análisis de índice de rotura de tuberías

Se analizaron los registros de roturas de tuberías de IDAAN entre 2012 y 2014, junto con las longitudes de las cañerías disponibles en la base de datos GIS de la empresa, para calcular índices de roturas de tuberías en 142 zonas, cubriendo la mayor parte de la red de distribución.

2.3 Resultados

2.3.1 Horarios de suministro intermitente

Utilizando los resultados de monitoreo continuo de presión, se elaboró un cronograma de suministro de cada una de las cuatro zonas entre agosto de 2014 y agosto de 2015. Durante el período del estudio, el agua se bombeaba a VB el 87% del tiempo, las elevaciones más pronunciadas de 7S estaban abastecidas el 83% del tiempo, AL se encontraba abastecido el 57% del tiempo, y CR el 99% del tiempo. Las interrupciones en el servicio no seguían un cronograma previsible o confiable, generando inconveniencias para los usuarios. En 7S y VB el cronograma de abastecimiento era irregular ya que dependía del nivel del tanque de almacenamiento abasteciendo a 7S y de la cantidad de agua que llegaba a la estación de bombeo que abastecía a VB, factores que dependen del estado hidráulico de la red en su totalidad y escapan el control directo de los operadores. En AL, la programación de 3 días

⁵⁸El caudal se midió mediante un medidor de caudal Seametrics IP80 asequible. ⁵⁹Se utilizó un medidor de presión Telog LPR-31i en la entrada de la Zona 3 y monitores ECO-3 (Aguas Inc.) en todas las estaciones restantes, para registrar la presión cada 30 segundos. Ambos aparatos tenían la capacidad de detectar eventos de presión transitoria y registrar mediciones cada 0,1 segundos cuando ocurrían. ⁶⁰Sensores Q46/76 y Q45H/62 (Analytical Technology Inc.) midieron el cloro libre residual y turbiedad respectivamente, cada 30 segundos.

con suministro seguidos de 3 días sin suministro no se seguía estrictamente y hubo tres interrupciones que duraron más de 6 días por roturas de tuberías (**Figura 3**). Interrupciones adicionales más breves, causadas por detenciones de la estación de bombeo que alimentaba la zona, también afectaron a AL. Incluso tramos de la red que habitualmente gozan de servicio continuo fueron afectados por interrupciones inesperadas debido a roturas en tuberías importantes y cierres en las plantas de tratamiento. Por ejemplo, en CR, durante el año del informe, hubo cuatro interrupciones de más de 9 horas de duración cada una.

FIGURA 3

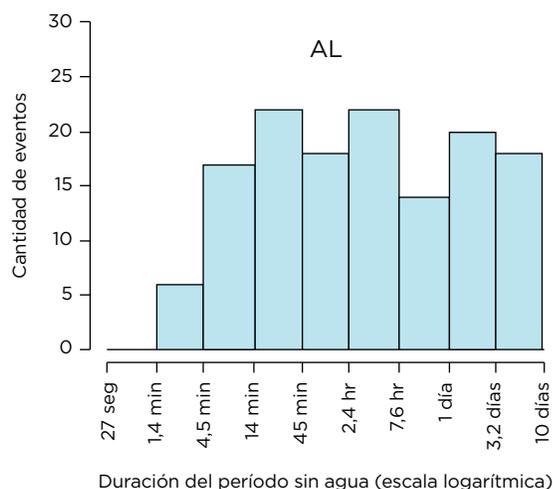


Figura 3. Distribución de la duración de períodos sin agua en AL, basados en datos de 316 días entre agosto de 2014 y agosto de 2015. Se consideró que AL carecía de suministro cuando la presión en la estación de monitoreo DS se encontraba por debajo de 2 psi a nivel del suelo.

A menudo, la carencia de información del sistema y la insuficiente capacidad de monitoreo contribuyeron a interrupciones prolongadas o inesperadas del servicio. Por ejemplo, durante el período de estudio, la capacidad de una estación de bombeo cercana a la de VB aumentó, lo cual redujo el flujo a la estación VB disminuyendo la calidad del servicio en VB. IDAAN no anticipó tales efectos, y solo se realizaron cambios para resolver la situación después de que los residentes de VB bloquearan un carril de la autopista más importante de Panamá reclamando por el deterioro de la calidad del servicio.⁶¹

Hubo otra situación, varios meses más tarde, en que una de las bombas de la estación de bombeo VB dejó de funcionar, por lo que nuevamente disminuyó el abastecimiento al área. Como esta bom-

ba sólo operaba intermitentemente, fue difícil para los operadores que realizaban una inspección diaria percatarse de su malfuncionamiento, y el problema fue detectado dos semanas más tarde cuando clientes se dirigieron a la oficina de IDAAN para quejarse. Días después de la reparación de la segunda bomba, la estación de bombeo volvió a fallar, debido a problemas eléctricos, y el problema no fue detectado hasta que los residentes de VB nuevamente bloquearon carriles de la autopista.⁶²

Posteriormente se observó que estas tres interrupciones se reflejaron en los datos continuos de presión y caudal tomados en la descarga de la estación de bombeo VB, como parte de este proyecto. Si los operadores de IDAAN levantaran este tipo de información y realizaran el monitoreo en línea (con sistemas de alarma para alertarlos en caso de problemas), estas situaciones podrían evitarse.

2.3.2 Presiones bajas, negativas y altas

El monitoreo continuo detectó presiones bajas y negativas que traen aparejados riesgos de intrusión o reflujo, así como presiones altas debido a las fluctuaciones. Las presiones bajas y negativas son inherentes a las interrupciones del servicio asociadas al suministro intermitente. La presión estuvo por debajo de 2 psi a nivel del suelo 0,9%, 17%, 43% y 5,8% del tiempo en los puntos de monitoreo aguas abajo de CR, 7S, AL y VB, respectivamente. La presión promedio en la estación de monitoreo continuo aguas abajo cuando el suministro se encontraba encendido (por encima de los 2 psi a nivel del suelo) fue de 21,9 psi en CR, 37,9 psi en 7S, 35,5 psi en AL y 47,2 psi en VB.⁶³

Se registraron oscilaciones bruscas de presión en la descarga de la estación de bombeo VB por transitorios hidráulicos provocados por el encendido o apagado de la bomba (**Figura 4**). En tanto las fluctuaciones por arranque y detención se dan también en sistemas continuos,⁶⁴ probablemente hayan sido más frecuentes en este caso debido a los reiterados apagones y carencia de agua suficiente en la estación de bombeo para su funcionamiento continuo. Durante 351 días de monitoreo en la descarga de la estación de bombeo VB, las presiones debajo de -1 psi (a nivel del tubo) se registraron en 46 ocasiones, por una duración total de 107 segundos, y

⁶¹Castillo, Pablo. "Moradores de Vista Bella de Arraiján protestan por agua." La Crítica. 22 de julio de 2014. ⁶²"Dispersan a manifestantes que tenían cerrada vía en Arraiján." La Crítica. 11 de mayo de 2015; Montenegro, Eric Ariel. "Moradores de Vista Bella de Arraiján protestan por la falta de agua." La Prensa. 11 de mayo de 2015. ⁶³Nótese que la estación de monitoreo aguas abajo de VB se ubicó en una entrada alternativa a la zona para que no estuviera demasiado alejada. Otras partes de la zona experimentaron presiones muy inferiores. También había numerosas porciones de AL que experimentaron presiones menores que aquellas de la estación de monitoreo aguas abajo. ⁶⁴Boulos et al., "Hydraulic Transient Guidelines for Protecting Water Distribution Systems." ⁶⁵Los eventos ocurridos con 2 segundos de diferencia se agruparon, pero la duración total sólo considera el tiempo en que la presión estaba realmente por debajo del umbral. Cuatro eventos < -1 psi y dos eventos < -5 psi duraron una sola medición tomada cada 0,1 segundos.

presiones debajo de -5 psi se registraron 18 veces sumando una duración de 25 segundos.⁶⁵

Se detectaron nueve eventos con presiones por encima de los 135 psi. La presión mínima registrada en la descarga de la estación de bombeo VB fue -10,6 psi y la máxima 162 psi.

FIGURA 4

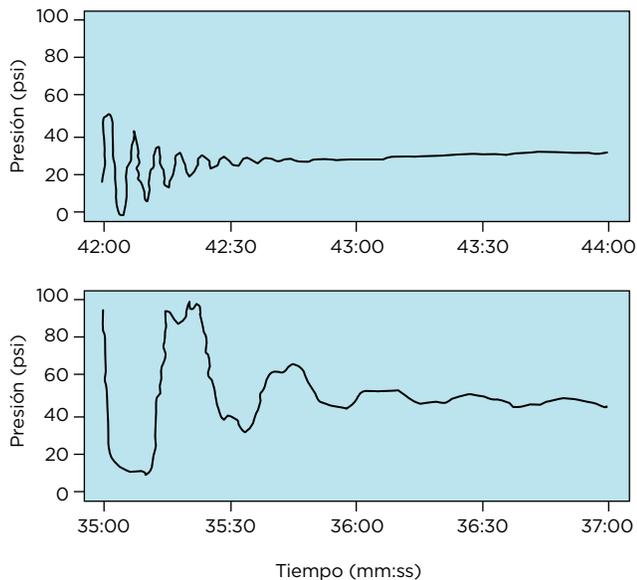


Figura 4. Ejemplos de oscilaciones de presión por transitorios hidráulicos en el arranque (superior) y apagado (inferior) de la estación de bombeo VB.

La estación de monitoreo ENT en AL, ubicada cerca de la parte alta de una cuesta, sostuvo presiones negativas que se registraron aun cuando ingresaba caudal a la zona de estudio, indicando que este tubo estaba operando como sifón. En el total de 269 días de monitoreo, la presión se encontró por debajo de -1 psi (a nivel de la tubería) el 40% del tiempo, y por debajo de -5 psi el 18% del tiempo. En 184 días de monitoreo cuando había flujo de agua entrando a la zona, la presión estuvo por debajo de -1 psi el 36% del tiempo y por debajo de -5 psi el 18% del tiempo, con una presión mínima de -14 psi, prácticamente vacío completo. Durante las muestras de primera descarga en Las Nubes, se observaron presiones negativas en grifos domésticos inmediatamente tras el corte del suministro. Dado que gran cantidad de usuarios en Las Nubes conectan una manguera a sus grifos para alimentar sus tanques de almacenamiento, estas presiones negativas provocan riesgos de reflujos cuando las mangueras están sumergidas en los tanques, con los consiguientes riesgos de contaminación de la red.

2.3.3 Calidad del agua

Con muy pocas excepciones, las muestras puntuales rutinarias obtenidas en condiciones normales en las cuatro zonas, cumplían con los estándares COPANIT de Panamá de turbiedad, coliformes totales y *E. coli*.⁶⁶ Es probable que la poca incidencia de bacterias coliformes esté relacionada con el mantenimiento continuo de cloro libre residual en el sistema de distribución. Tanto el monitoreo continuo como los resultados de muestras puntuales rutinarias indican que, a excepción de la primera descarga, IDAAN mantiene cloro libre residual constante en las zonas de estudio. Si bien 38% de las muestras rutinarias exhibían concentraciones de cloro libre residual por debajo del estándar COPANIT de 0,8 mg/L, todas presentaban al menos 0,3 mg/L, por lo que se encontraban en cumplimiento de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, que sugieren que el agua de distribución de red posea al menos 0,2 mg/L de cloro residual libre.⁶⁷

Una incidencia más pronunciada de turbiedad elevada se registró durante los eventos de primera descarga. Algunos de estos eventos no presentaban variaciones en la calidad del agua (ejemplo, **Figura 5a**). Todas las muestras recogidas durante 13 de los 33 eventos muestreados resultaron negativas para coliformes totales y *E. coli* y con turbiedad $\leq 1,0$ NTU. En otros eventos, la calidad del agua se degradó durante los primeros minutos de suministro, como indicaban la elevada turbiedad, las concentraciones elevadas de bacterias HPC y bacterias aeróbicas formadoras de esporas, los bajos niveles de cloro y, con menor frecuencia, la presencia de coliformes totales y *E. coli* (ejemplo, **Figura 5b**).

Durante 20 de los 33 eventos, al menos una de las muestras reveló turbiedad por encima de los estándares panameños de 1,0 NTU; en seis eventos, al menos una muestra se encontraba por encima de la norma panameña de coliformes totales de 3 NMP (número más probable) por 100 mL; y en cuatro eventos, una o más muestras resultaron positivas para la presencia de *E. coli*. Todos los eventos con *E. coli* positivos, y todos excepto uno, de los eventos con coliformes totales positivos, ocurrieron en la zona de mayor intermitencia del suministro. En dos de los eventos positivos para coliformes totales y *E. coli*, sólo la primera muestra, tomada al momento del comienzo del suministro, fue positiva. A pesar de que la boquilla del grifo fue siempre desinfectada con hipoclorito de sodio, es posible que en esas dos ocasiones la contaminación haya provenido del grifo mismo. En seis de los 29 eventos en que se

analizó cloro (todas en AL), una o más de las muestras tenían concentraciones de cloro libre inferiores a 0,2 mg/L.

A excepción del evento de primera descarga, donde una muestra obtenida tras 45 minutos de suministro resultó positiva para coliformes totales, sólo se detectaron coliformes y *E. coli* durante los primeros 20 minutos del suministro, probablemente porque a posteriori, la contaminación que pudo haberse introducido o desarrollado en las tuberías durante su interrupción, ya había sido eliminada de la red. En ocasiones, tras la rotura y reparación de las tuberías, se detectó alta turbiedad en el agua durante muestreos de rutina y de primera descarga. Esto sugiere que tanto la reducción de las roturas como mejores prácticas de reparación contribuirían a evitar episodios de contaminación. Tres eventos de primera descarga asociados a roturas de tuberías y sus reparaciones presentaron muestras con turbiedad >100 NTU, y una muestra de rutina asociada a una reparación de tuberías, alcanzó una turbiedad de 83 NTU.

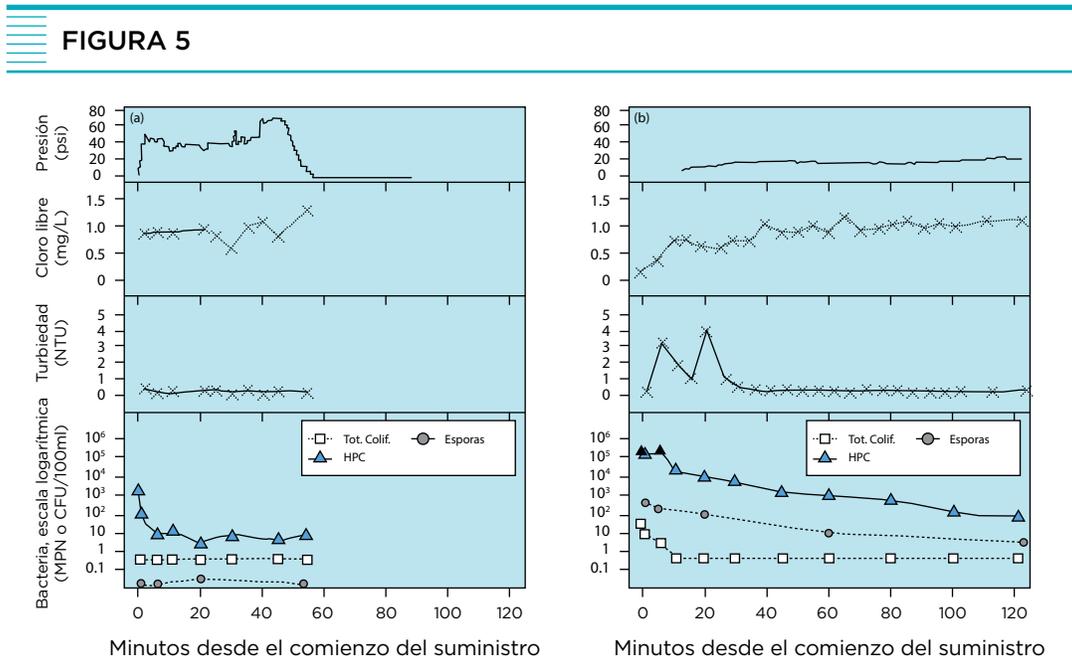


Figura 5. Ejemplo de eventos de primera descarga: **(a)** donde se detectó muy poca variación en la calidad del agua (Las Nubes, grifo doméstico, tras una interrupción en el servicio de 47 horas en época seca) y **(b)** donde se detectó una variación considerable en la calidad del agua (AL, grifo doméstico, tras una interrupción de 3 días durante la época de lluvias). En los gráficos de bacterias, los símbolos negros designan las muestras por encima del límite de detección (trazadas al límite de detección) y los símbolos sombreados en gris designan las muestras por debajo del límite de detección (trazadas a la mitad del límite de detección).

Con respecto al almacenamiento doméstico, 9 en 93 (10%) muestras de agua almacenada resultaron positivas para *E. coli* y 24 (26%) registraron una concentración de coliformes totales por encima de 10 NMP por 100 mL, el valor máximo según el estándar panameño de agua no entubada.⁶⁸ Siete de las 9 muestras positivas para *E. coli* fueron en AL, y 8 de ellas se tomaron de baldes o barriles en que los usuarios vertieron agua del contenedor.

Considerando que solamente el 5% de todas las muestras de primera descarga arrojaron resultados positivos para bacteria coliforme total, la contaminación debe estar ocurriendo durante el almacenamiento doméstico. **Promover el almacenamiento seguro, en que el agua se vierta desde un contenedor de boquilla angosta, probablemente reduciría la contaminación del agua almacenada en la vivienda.**

⁶⁶Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. "Agua Potable. Definiciones y Requisitos Generales." ⁶⁷Organización Mundial de la Salud. 2011. "Guía para la calidad del agua potable, cuarta edición." ⁶⁸Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. "Agua Potable. Definiciones y Requisitos Generales".

2.3.4 Cantidades suministradas y pérdidas de agua

El caudal promedio que ingresa a cada zona es alto comparado con el consumo facturado, y con el registrado por los micromedidores en las zonas en que están disponibles. El caudal de entrada aproximado de 948 galones por edificio (vivienda o comercial) por día en 7S, resulta particularmente alto comparado con los 586 y 467 galones ingresando a CR y AL, respectivamente. Según una encuesta realizada en 34 a 48 viviendas en cada zona, el promedio de habitantes por vivienda es de 4,7 en 7S, 5,6 en AL y 8,7 en CR, con lo que los caudales diarios calculados per cápita son 202 galones en 7S, 82 galones en AL y 67 galones en CR.⁶⁹ Estos promedios no solo son elevados, sino que en algunos casos se traducen en caudales horarios muy altos teniendo en cuenta que el servicio se daba durante parte del tiempo. A pesar de tener un flujo continuo, CR registró el menor caudal de ingreso per cápita de las tres zonas. Esto parecería indicar que los índices de pérdidas son mayores en las dos zonas intermitentes analizadas, en especial 7S. La conclusión de que los índices de pérdidas son elevados en 7S es también avalada por el hecho de que los clientes que poseen medidores en 7S consumen menos agua por cliente que aquellos en CR.

En cada una de las tres zonas de estudio, el caudal de entrada promedio durante la hora de caudal mínimo (en medio de la noche) fue de 73% o más del caudal de entrada promedio durante la hora de caudal máximo (Figura 6). En AL, algunos clientes solo eran abastecidos durante la noche, por lo que podían encontrarse recogiendo agua para almacenar durante esas horas. Pero en CR y la inmensa mayoría de 7S, los usuarios tenían acceso al agua las 24 horas del día. En estas zonas, la mayor parte del caudal que entraba durante la noche se debe haber perdido, ya sea debido a pérdidas en la red, o en las tuberías domésticas. Durante julio de 2015, el consumo facturado en 7S y CR fue del 25% y 61% de la cantidad de agua que ingresó a cada zona respectivamente. La diferencia entre ambas en lo referente a porcentaje de agua facturada probablemente sea debida a un índice superior de pérdidas físicas en 7S, y no a que se haya facturado un mayor consumo en CR.

El análisis de consumo y pérdida de agua no pudo realizarse en VB porque tras el comienzo del estudio, se encontraron interconexiones que implicaban que VB no estaba hidráulicamente aislado del modo en que se había supuesto.

FIGURA 6

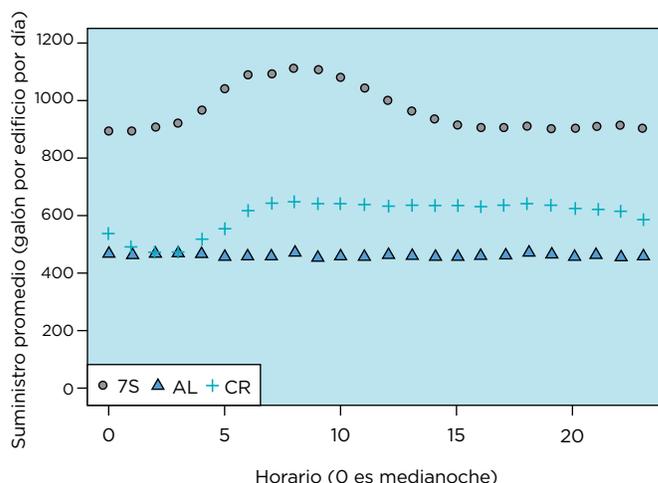


Figura 6. Caudal de entrada promedio por edificio y hora del día.

2.3.5 Servicio intermitente y roturas de tuberías

Según los registros de reparaciones de IDAAN 2012-2014, los índices de rotura varían enormemente en Arraiján (Figura 7).⁷⁰ En 13 de las 142 zonas analizadas en Arraiján se superaron las 4 roturas diarias por km de tubería por año, valor muy por encima del promedio de 1,42 de la red. El 26% por ciento de estas roturas ocurrieron en estas 13 zonas, aun cuando sólo se encuentran en ellas el 3,8% de las tuberías.

Cada zona se clasificó según tuviera un suministro continuo (normalmente ininterrumpido), intermedio (frecuentes interrupciones imprevistas) o intermitente (interrupciones habituales), de acuerdo a entrevistas con un experimentado operador de IDAAN. No se observó una relación general entre el suministro intermitente y la rotura de cañerías, ya que las zonas con los tres tipos de continuidad de suministro se hallaron entre aquellas con altos y bajos índices de rotura. Sin embargo, en zonas como VB, el alto índice de rotura está asociado a presiones extremas causadas por el bombeo intermitente. Cuatro de las ocho zonas que presentaron los mayores índices fueron afectadas por bombeo intermitente. Debido a probables errores en la longitud de las tuberías y en datos de la ubicación de las

⁶⁹ Las viviendas encuestadas fueron seleccionadas al azar y distribuidas geográficamente a lo largo de toda la zona de estudio, pero la muestra no resultó completamente representativa dado que sólo pudieron considerarse viviendas en las que alguien permanecía durante todo el día.⁷⁰ Sólo se contemplaron tuberías de 2 a 12 pulgadas para este análisis. Varias partes de la red de Arraiján en que datos de la longitud de las tuberías no estaban disponibles, se excluyeron del análisis.

roturas, es probable que los índices de rotura de algunas zonas específicas sean imprecisos. Por ejemplo, algunas tuberías en la zona con > 50 roturas por km por año, probablemente no estén registradas en la base de datos GIS de IDAAN, lo que contribuiría a estimar un índice superior al real.

Más allá de potenciales imprecisiones en los datos para el cálculo de los índices de roturas de zonas específicas, la calidad general de los datos es suficiente para apoyar las tendencias generales observadas.

FIGURA 7

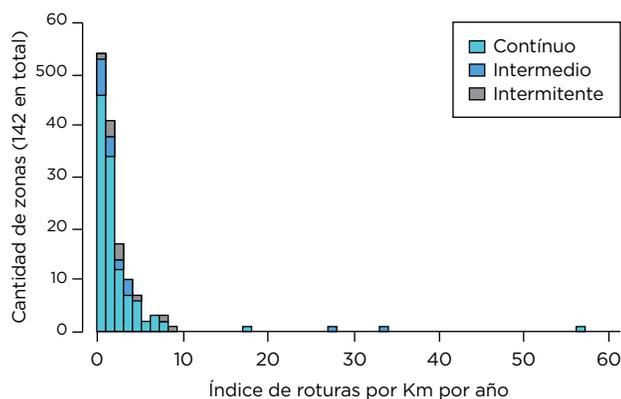


Figura 7. Distribución del índice de roturas por zona durante 2012-2014 según continuidad del suministro. La barra a la izquierda extrema representa la cantidad de zonas sin ninguna rotura registrada. La barra que le sigue representa la cantidad de zonas con un índice de roturas entre 1 y 0 por km por año.

2.4 Lecciones aprendidas del estudio de Arraiján y su comparación con Hubli-Dharwad

2.4.1 La naturaleza y gravedad de IWS y sus efectos varían sustancialmente dentro de y entre los sistemas de distribución

Las comparaciones entre las diferentes zonas de estudio de Arraiján y entre Arraiján y Hubli-Dharwad, India, donde previamente se realizaron evaluaciones detalladas de los efectos del IWS sobre la calidad de agua utilizando métodos similares,⁷¹ muestran que la naturaleza y gravedad del IWS y sus efectos varían enormemente. En sistemas de suministro de agua continuos (CWS), la red de distribución entera se abastece en todo momento. En sistemas intermitentes, diferentes porciones de la red pueden ser abastecidas desde nunca hasta prácticamente todo el tiempo y la frecuencia, duración y previsibilidad de los períodos de suministro puede variar inmensamente, lo que genera un amplio y complejo

espectro de posibilidades de suministro.

En Arraiján, el suministro varió desde prácticamente continuo en la mayoría de la red, a casi nulo en algunas áreas que si bien tenían tuberías, rara vez recibían agua a través de ellas. En Hubli-Dharwad, en promedio, las viviendas en áreas intermitentes reportaron recibir agua sólo 5 horas cada 6 días,⁷² siendo un cronograma de suministro peor que en cualquier zona de Arraiján, excepto en zonas que carecían de suministro por completo.

EL IWS varía enormemente, no solamente de acuerdo con el cronograma de suministro, sino también según cómo es controlada la intermitencia.

En Hubli-Dharwad y en el caso de los sectores AL y Las Nubes de Arraiján, los operadores manipulan válvulas para racionar el agua entre diferentes sectores de la red, de acuerdo con un cronograma preestablecido, que, en el caso de AL, no era seguido estrictamente. En 7S y otras partes de Arraiján, el suministro se encontraba “encendido” en todo momento, pero no alcanzaba a las zonas de mayor elevación o distantes de la red cuando la presión no era la suficiente debido a la alta demanda o roturas de cañerías en otras partes. En VB y otras zonas de Arraiján, el bombeo intermitente controlaba el IWS. En VB, la estación de bombeo estaba programada para permanecer “encendida” en todo momento, pero se detenía cuando no recibía suficiente agua para mantener los niveles del tanque de succión.

Los distintos cronogramas de suministro y métodos de control de IWS, generan diferentes efectos sobre la calidad, infraestructura, degradación y complejidad operativa del agua, variando también la satisfacción del usuario. Además de la naturaleza del IWS en sí misma, diferentes factores contextuales también pueden interactuar con los efectos del IWS sobre estos resultados.

Por ejemplo, la presencia de fuentes de contaminación fecal, napa freática más elevada, pérdidas frecuentes, concentración de desinfectante residual inadecuada o inconsistente, y prácticas de almacenamiento doméstico poco sanitarias, pueden exacerbar los efectos negativos del IWS sobre la calidad del agua.

⁷¹Kumpel y Nelson, “Comparing Microbial Water Quality in an Intermittent and Continuous Piped Water Supply”; Kumpel y Nelson, “Mechanisms Affecting Water Quality in an Intermittent Piped Water Supply.” ⁷²Kumpel y Nelson, “Mechanisms Affecting Water Quality in an Intermittent Piped Water Supply.”



*Punto de monitoreo
7 de septiembre (7S).*



*Punto de monitoreo en La Alameda (AL)
con presiones negativas.*



*Desarrollo de estructura urbana informal
y topografía irregular en el sector
"Las Nubes".*



*Estación de monitoreo continuo
con sensores de presión, turbiedad
y cloro libre.*

A pesar de que se detectaron presiones bajas y negativas en zonas de estudio de Arraiján, **el monitoreo de la calidad del agua registró poca evidencia de filtración de contaminantes, con la excepción de algunos eventos de primera descarga y roturas y reparaciones de tuberías.** La **Tabla 1** muestra que la calidad del agua de rutina, primera descarga y almacenada era superior en las zonas de estudio intermitentes de Arraiján que en las zonas intermitentes de Hubli-Dharwad.

TABLA 1

Ubicación	% de muestras de rutina con problemas de calidad indicados (nº total de muestras analizadas)				Eventos de primera descarga que presentan al menos con E. coli ≥ 1 MPN/100 mL	% de muestras almacenadas con E. coli ≥ 1 MPN/100 mL (n)
	E. coli ≥ 1 MPN/100 mL	Coliformes totales ≥ 1 MPN/100 mL	Turbiedad ≥ 5 NTU	Cloro libre residual $\leq 0,2$ mg/L		
IWS de Arraiján*	0,5% (182)	1,6% (182)	1,8% (223)	0% (226)	4 de 33	11% (71)
IWS de Hubli-Dharwad	31,7% (589)	64,9% (589)	55,6% (586)	61,1% (557)	12 de 15	34% (266)
CWS de Hubli-Dharwad	0,7% (587)	17,7% (586)	55,5% (618)	31,7% (575)	ND	12% (332)

Tabla 1. Comparación de la calidad de agua entre zonas IWS en Arraiján y las zonas IWS y CWS de Hubli-Dharwad.⁷³

*Las estadísticas de "IWS de Arraiján" incluyen muestras de rutina y aguas almacenadas de 7S, AL y VB y muestras de primera descarga de estas tres zonas y Las Nubes. Las muestras de rutina de Arraiján solamente incluyen a aquellas obtenidas en estaciones de monitoreo aguas abajo y grifos domésticos. Entre paréntesis se exhibe el número total de muestras de cada categoría.

LA BAJA INCIDENCIA DE CONTAMINACIÓN EN ARRAIJÁN COMPARADA CON LA DE HUBLI-DHARWAD PUEDE VINCULARSE A VARIOS FACTORES:

Fuentes contaminantes: *Hubli-Dharwad tenía una mayor densidad poblacional y saneamiento inadecuado (alcantarillas abiertas sin recubrimiento, letrinas y drenajes próximos a tuberías de agua potable). Las zonas de estudio en Arraiján no contaban con redes de alcantarillado sanitario, pero la mayoría de las letrinas y los tanques sépticos se encontraban detrás de las viviendas, alejados de las tuberías de agua potable.*

Calidad de salida de la planta potabilizadora: *Las catorce muestras tomadas en las plantas potabilizadoras de Hubli-Dharwad revelaban turbiedad entre aproximadamente 2 a 10 NTU y cinco de ellas arrojaron resultados positivos de bacterias coliformes totales.⁷⁴ No se tomaron muestras directas de las plantas potabilizadoras de Arraiján, pero de 93 muestras de turbiedad tomadas en las tuberías de conducción provenientes de las plantas, sólo una mostraba turbiedad >1 NTU (1,03 NTU). Ninguna de las 91 muestras de bacterias tomadas en tuberías de conducción resultaron positivas para coliformes totales.*

Cloro libre residual: *Es probable que el cloro residual uniforme registrado en las zonas de estudio de Arraiján haya suprimido el crecimiento de bacterias en el sistema de distribución y, que en caso de filtración, haya desactivado a las bacterias coliformes, ya que estas son altamente susceptibles al cloro. Se estima que las dosis uniformes de cloro en las plantas de tratamiento y su poco tiempo de permanencia en las zonas de estudio hayan sido factores importantes para mantener el cloro residual adecuado en los grifos domésticos. Cálculos aproximados basados en los flujos desde las plantas de tratamiento y volúmenes de tuberías de transporte indican que la "edad" del agua es normalmente entre 2 y 24 horas en las zonas estudiadas. La joven "edad" del agua puede ser normal en sistemas intermitentes, ya que generalmente sufren de capacidad de distribución inadecuada, en contraste con redes de distribución de países de altos ingresos, que normalmente están sobredimensionadas para ofrecer flujos adecuados para las bocas de incendio.⁷⁵ En contraste con los resultados de Arraiján, el cloro libre residual en los grifos domésticos en Hubli-Dharwad*

⁷³Kumpel y Nelson, "Comparing Microbial Water Quality in an Intermittent and Continuous Piped Water Supply."⁷⁴Ibid. ⁷⁵AWWA, "Effects of Water Age on Distribution System Water Quality" (U.S. Environmental Protection Agency, 15 de agosto de 2002), https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2007_05_18_disinfection_tcr_whitepaper_tcr_waterdistribution.pdf.

se encontraba por debajo de 0,2 mg/L en 61,1% de las muestras en áreas IWS y en 31,7% de las muestras en áreas CWS.

Prácticas de almacenamiento doméstico: La menor incidencia de la bacteria *E. coli* en el agua almacenada de Arraiján, comparada con la de Hubli-Dharwad, podría deberse en parte a la mayor higiene de las prácticas de almacenamiento. En Hubli-Dharwad, en el 74% de las viviendas en que se tomaron muestras de agua almacenada, se usaba una vasija u otro recipiente para sacar agua desde sus tanques de almacenamiento,⁷⁶ en comparación con el 20% de las viviendas de las que se tomaron muestras en Arraiján. Es probable que los resultados de calidad del agua almacenada también hayan sido afectados por diferentes métodos de muestreo⁷⁷ y diferencias en la calidad del agua de la red antes de almacenarse en la vivienda.

Gravedad de la intermitencia: En general, las zonas de estudio de Arraiján fueron abastecidas con mayor frecuencia y durante períodos más extensos que las áreas IWS en Hubli-Dharwad. De las cuatro zonas de estudio de Arraiján, AL sufría la mayor intermitencia del suministro y el agua presentaba calidad más degradada durante la primera descarga.

Presión de suministro: Durante el suministro en Arraiján, las presiones tendían a ser más altas que las de las zonas IWS de Hubli-Dharwad, en las que la presión media durante el suministro se encontraba por debajo de los 10 psi en 5 de los 21 ciclos de suministro monitoreados, y por debajo de los 20 psi en 17 de 21 ciclos de suministro.⁷⁸

Representatividad de los resultados del estudio: Mientras que los resultados de Arraiján ofrecen evidencia sólida de que la calidad del agua del sistema de distribución es muy superior que en Hubli-Dharwad, es importante considerar que las presiones bajas y negativas detectadas en Arraiján constituyen un verdadero riesgo para la calidad del agua. El hecho de que la incidencia de contaminación en cuatro zonas de estudio de tamaño limitado haya sido baja, no significa que siempre será baja en zonas de estudio similares bajo las mismas condiciones de suministro. Por ejemplo, las presiones negativas sostenidas en la entrada de AL constituyen un riesgo evidente a la calidad del agua. Sin embargo, no se detectó que afectaran la calidad del agua, probablemente porque no había pérdidas en tuberías cercanas a fuentes de contaminación en el sector con presión negativa. También es importante considerar que algunos patógenos son más resistentes a la desactivación con cloro que los coliformes totales y *E. coli*. Si la contaminación fecal ingresara al sistema de distribución de Arraiján, algunos patógenos podrían haber persistido aun si las bacterias coliformes hubieran sido desactivadas.

En vista de tantas diferencias importantes entre el suministro y las condiciones en Hubli-Dharwad y en Arraiján, no es nada sorprendente que también había una gran diferencia entre la calidad de agua en los dos lugares. Hubli-Dharwad no fue seleccionada como un punto de comparación por ser similar a Arraiján, sino porque es el único lugar donde había datos comparables. Los ejemplos de Arraiján y Hubli-Dharwad demuestran que las condiciones pueden variar mucho dentro de la categoría que se denomina “suministro intermitente.”

La incidencia de presiones negativas, presiones extremas y roturas de tuberías varía entre zonas con IWS. Las presiones más altas registradas se asociaron a transitorios durante el arranque y apagado de bombas en VB y AL. No se detectaron presiones transitorias significativas o extremadamente altas bajo el suministro intermitente en 7S. Mientras que en algunas áreas con IWS en Arraiján, particularmente en zonas de bombeo intermitente, los índices de roturas de tuberías eran elevados, esto no se replicaba en todas las zonas IWS. Tales resultados sugieren que, en ciertos casos, el IWS resulta en mayor desgaste por uso que en otros.

⁷⁶Kumpel y Nelson, “Comparing Microbial Water Quality in an Intermittent and Continuous Piped Water Supply.” ⁷⁷En Arraiján, se transfirieron muestras directamente del depósito de almacenamiento a una botella de muestra estéril, en tanto en Hubli-Dharwad, para simular la calidad del agua que el usuario ingiere, la muestra fue transferida a través de un vaso proporcionado por el usuario. ⁷⁸Kumpel y Nelson, “Mechanisms Affecting Water Quality in an Intermittent Piped Water Supply.”

2.4.2 Los índices elevados de pérdida de agua se asocian a IWS

A menudo se vincula a IWS con altos índices de pérdidas de agua.⁷⁹ El monitoreo del flujo en tres de las zonas de estudio de Arraiján y los datos de producción y facturación de IDAAN, muestran que la situación en Arraiján sigue la norma. A pesar de una elevada producción de 155 galones por persona por día, el servicio es deficiente en gran parte de la red. Los altos caudales de entrada en las zonas de estudio y durante la noche sugieren que existen pérdidas significativas en las zonas de estudio, ya sea en las tuberías de distribución o en las cañerías domésticas.

2.4.3 Técnicas de monitoreo avanzadas ofrecen oportunidades para diagnosticar problemas en sistemas con IWS complejos y para mejorar su gestión

El proyecto permitió evaluar la utilidad de los distintos métodos de monitoreo en sistemas de distribución intermitente y considerar si podrían ser utilizados por los operadores para mejorar la calidad de IWS. El monitoreo continuo de presión y caudal permitió identificar el horario de suministro que reciben los usuarios, detectar cortes de las estaciones de bombeo, identificar presiones extremas (altas y bajas/negativas) que pueden dañar las cañerías y constituir un riesgo para la calidad del agua, detectar roturas de tuberías e identificar zonas de la red de distribución en las que el caudal de entrada fue más alto que lo previsto.

El monitoreo de la presión en Arraiján, sumado a conversaciones sobre el sistema con los operadores y observaciones al mismo, revelaron que el patrón de interrupciones en el suministro en una zona IWS era a menudo producto de una sumatoria de causas. Al superponerse unos con otros, estos patrones de fallas dieron por resultado un patrón de suministro complejo en el que las condiciones de la red de Arraiján variaban prácticamente semana a semana. En tanto algunas interrupciones eran causadas por una capacidad de distribución inadecuada o un equilibrio de caudal desfavorable en el sistema dada la alta demanda y excesivas pérdidas, otras eran causadas por fallas que podrían haber sido evitadas o reducidas mejorando la capacidad de monitoreo

y tiempos de respuesta. Por ejemplo, en AL, la duración de las interrupciones de bombeo y el tiempo de respuesta de los operadores a las roturas de tuberías, podrían reducirse instalando un medidor de presión con telemetría en la zona que alerte a los operadores en caso de interrupción. Por supuesto, este monitoreo mejorado sólo sería efectivo si los operadores dispusieran de capacidad adecuada de respuesta a las alertas de los sensores e hicieran las reparaciones oportunamente.

Inconsistencias en los procedimientos operativos también afectaron en ocasiones el cronograma de suministro en AL, como por ejemplo cuando un operador de fin de semana no sabía si la válvula de control debía ser abierta o cerrada. El monitoreo de la presión también podría encargarse de este problema, ya que permitiría que los operadores de fines de semana pudieran identificar la condición de apertura o cierre sin tener que dirigirse hasta la válvula misma. La información recogida también ayudaría a que los supervisores verificaran el cumplimiento del cronograma de apertura y cierre de válvulas debidamente por parte de los operadores.

Todas las áreas del sistema, incluyendo CR, sufrieron interrupciones ocasionales debido a cierres en las plantas de tratamiento, construcción o reparación de la red principal, o importantes roturas imprevistas en tuberías. Los registros de roturas de tuberías identifican ciertas áreas problemáticas en las que las mismas suceden con frecuencia. En algunos casos, estas áreas problemáticas se ven afectadas por bombeo intermitente. El monitoreo de presiones transitorias, o la modelación y análisis hidráulicos, podrían utilizarse para determinar la causa de las roturas en estas áreas a fin de realizar cambios operativos o instalar aparatos de protección de sobrecarga para evitarlas.

Los cortes del suministro eléctrico también causan fallas locales, como la suspensión de la estación de bombeo VB, así como fallas en áreas más extensas, como la detención de una planta de tratamiento o estación de bombeo mayor. En tanto las fluctuaciones en la red eléctrica se encuentran más allá del control de los operadores del sistema de agua, el monitoreo y registro de estas fallas podrían permitir a estos operadores adaptar mejor la red de agua o coordinar con los operadores de la red eléctrica para evitar cortes particularmente problemáticos.

Las técnicas de monitoreo avanzadas también podrían permitir a los operadores mejorar la calidad del agua. Las mediciones continuas de presión en Arraiján permitieron detectar presiones negativas

⁷⁹Klingel, "Technical Causes and Impacts of Intermittent Water Distribution."

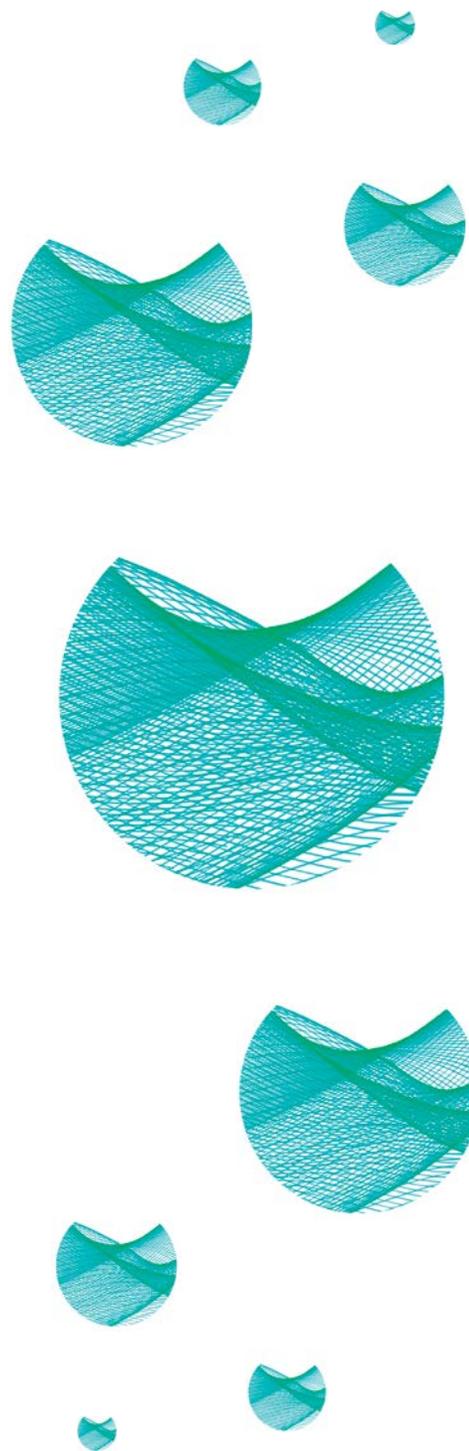
en ubicaciones puntuales de la red. Previo a la instalación de tales medidores, los operadores del sistema no estaban al tanto de dichas presiones negativas. Como era de esperarse, las muestras de primera descarga y del agua almacenada revelaron problemas con la calidad del agua, invisibles en el muestreo puntual rutinario. Las muestras de primera descarga y agua almacenada señalaron a AL como el área en que los efectos del IWS sobre la calidad del agua eran más importantes. En tanto el suministro de AL sea intermitente, será difícil mejorar la calidad del agua corriente durante las primeras descargas. Sin embargo, es factible reducir los impactos negativos del IWS allí desarrollando estrategias para evitar el consumo del agua de la primera descarga y promoviendo prácticas de almacenamiento de agua potable más higiénicas.

Tanto las muestras de rutina como las de primera descarga indicaron que la rotura de tuberías y sus reparaciones eran una importante fuente de contaminación en Arraiján. Dicha contaminación podría ser evitada o reducida mejorando las prácticas de reparación. En particular, debe evaluarse la necesidad de instalar mayor cantidad de bocas de incendio o válvulas de limpieza en la red para facilitar las purgas luego de las reparaciones.

A pesar de que el monitoreo continuo de la turbiedad y el cloro libre resultó útil para este proyecto de investigación, no se recomienda realizarlo como rutina en las zonas de estudio, dado que las mismas no presentan problemas de turbiedad ni cloro. Sin embargo, el monitoreo continuo puede resultar útil en otras porciones de la red de Arraiján, en que las bajas concentraciones de cloro resulten problemáticas. El monitoreo constante de turbiedad y cloro no fue confiable durante los primeros minutos de suministro, debido, al menos parcialmente, al aire expulsado por las cañerías y a través de los sensores. Sin embargo, las técnicas de monitoreo de la red podrían mejorarse, añadiendo válvulas de liberación de aire aguas arriba de los sensores de calidad de agua, por ejemplo, para permitir un monitoreo más confiable de la primera descarga, ya que es un momento crítico para la calidad del agua.

En el contexto de pérdidas excesivas de agua y un crecimiento imprevisto del sistema, el IWS puede aparecer como un problema incontrolable desde el punto de vista de una empresa proveedora de agua.

Sin embargo, los resultados de este caso de estudio en Arraiján sugieren que las técnicas de monitoreo avanzadas ofrecen oportunidades de realizar mejoras progresivas a la calidad del servicio en sistemas IWS.



**Marco
de consideraciones
de IWS en esfuerzos
por mejorar
el servicio de agua
potable en América
Latina y el Caribe**

Tomando las lecciones aprendidas del caso de estudio de Arraiján y otras investigaciones de IWS documentadas disponibles, se presentan algunas consideraciones sobre los IWS en lo que respecta a esfuerzos más amplios por ofrecer agua corriente potable segura, confiable y sostenible en ALC. Como se ha detallado en la Sección 1, el IWS presenta muchos problemas y de ser posible debe ser evitado, pero de no ser posible, deben tomarse medidas para monitorear y mitigar sus efectos negativos.

El IWS es inherentemente complejo, y los esfuerzos por mejorarlo o evitarlo deben comenzar por esfuerzos por comprenderlo en el contexto de cada escenario específico. Como se observa en las comparaciones entre Arraiján y Hubli-Dharwad, la naturaleza y efectos de IWS pueden variar drásticamente entre diferentes sistemas de distribución. La comparación de distintas zonas de estudio dentro del sistema de distribución de Arraiján demuestra que el IWS también puede variar sustancialmente entre diferentes zonas en un mismo sistema de distribución. La experiencia obtenida a partir de Arraiján reveló que los métodos de monitoreo avanzados pueden servir para diagnosticar los efectos de un caso específico de IWS y mejorar la operación en un sistema intermitente.

3.1 Métodos de monitoreo para diagnosticar y mejorar IWS

Los métodos de monitoreo de calidad del agua en sistemas de distribución intermitentes deberían ser confeccionados a medida de las dificultades específicas que presentan los IWS.

Además de tomar muestras puntuales rutinariamente, normalmente exigidas por las regulaciones de calidad de agua potable, como técnicas potencialmente útiles para el diagnóstico de la calidad del agua en sistemas IWS se incluyen:

- tomas de muestras puntuales de calidad de agua durante la primera descarga,
- muestras de agua potable almacenada,
- monitoreo de la presión para identificar presiones negativas que aumenten el riesgo de intrusión y reflujos,
- y el monitoreo continuo de turbiedad y cloro.

La estrategia óptima de monitoreo para un sistema IWS específico dependerá de la situación particular de dicho sistema. Por ejemplo, si las muestras tomadas al azar registran que el cloro residual es sistemáticamente suficiente, como en el caso de las zonas de estudio de Arraiján, entonces es innecesario su monitoreo. Sin embargo, si estas muestras revelan que el cloro residual en ocasiones es insuficiente en determinada zona, puede resultar necesario el monitoreo continuo. Un monitoreo inicial intensivo puede servir para diagnosticar áreas problemáticas en una red de distribución, de modo que se puedan diseñar un programa de monitoreo y

mejoras en la operación para enfocar en esas áreas.

Prácticas mejoradas de monitoreo de calidad de agua en sistemas de IWS pueden contribuir a reducir riesgos de salud pública, cambiando las prácticas del suministro (por ejemplo, evitando presiones negativas, utilizando procedimientos apropiados de descargas y desinfección después de la reparación de tuberías) e informando a los usuarios para que modifiquen sus hábitos (por ejemplo, evitar el consumo de la primera descarga en los casos en que sea posible implementarlo, reducir el riesgo de reflujos o considerar prácticas de almacenamiento más seguro).

El diseño de soluciones para reducir riesgos, especialmente aquellos relacionados con las prácticas de los usuarios, estará muy ligado al contexto específico y requerirá una cuidadosa evaluación de la efectividad para determinar las soluciones a cada situación particular. Asimismo, el monitoreo de la calidad del agua ajustada para las situaciones del suministro intermitente, puede ayudar a determinar si un sistema está abasteciendo a los usuarios de agua de calidad aceptable (aumentando la confianza de los usuarios) o inaceptable (alertando a los usuarios a realizar tratamientos domésticos y a la agencia proveedora del servicio que la calidad del agua debe ser mejorada).

Las técnicas de monitoreo avanzadas también pueden mejorar la continuidad del servicio y la eficiencia operativa de los sistemas IWS. El monitoreo de presión y flujo puede reflejar condiciones del suministro y servir para detectar problemas en el sistema a fin de acotar los tiempos de respuesta de los operadores, determinar las causas de cortes, identificar áreas de pérdidas elevadas, y visualizar los logros de los esfuerzos por mejorar la continuidad del servicio. El monitoreo no debe centrarse

únicamente en los sensores o muestras de calidad del agua. Registrar las reparaciones de tuberías permite identificar áreas donde tuberías deterioradas o condiciones hidráulicas problemáticas generan altos índices de roturas. Dejar registradas las maniobras de válvulas y otros eventos operativos, y luego analizar dichos registros, conduce a la operación más metódica de los sistemas IWS.

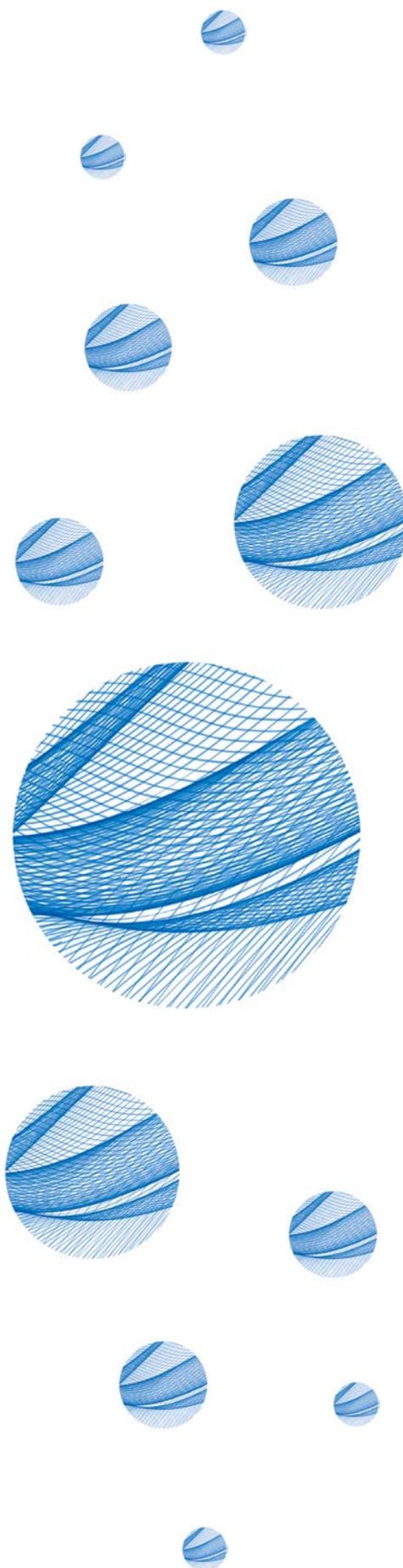
Al publicar los resultados de monitoreo, en particular aquellos relacionados con la calidad del agua y continuidad del servicio, los operadores pueden mostrar a sus clientes que están realizando serios esfuerzos por solucionar problemas de suministro, lo que debería aumentar el apoyo de los clientes a la empresa proveedora como institución, derivando en su voluntad de pagar el servicio.

3.2 Oportunidades para mejorar la calidad del servicio en sistemas IWS

Además de las técnicas de monitoreo previamente expuestas, muchas mejores prácticas para la operación de sistemas de distribución continua también aplican a sistemas intermitentes, y a menudo resultan aún más importantes en ellos.

Dichas prácticas incluyen:

- medir y reducir pérdidas de agua,
- mantener una comunicación efectiva con los clientes,
- evitar potencial contaminación del agua por reflujos y conexiones cruzadas, manteniendo cloro residual y presión suficiente cuando el agua está corriendo,
- recoger y administrar datos operativos,
- administrar los sistemas de distribución utilizando una base de datos GIS.





Conclusiones

En vista de la importancia del IWS dentro del marco de esfuerzos para proveer un mejor suministro de agua potable, se realizó un estudio en cuatro zonas (tres con suministro intermitente y uno con suministro continuo) de la red de agua potable de Arraiján, Panamá.

A través del monitoreo continuo de presión se vio que el horario de suministro en las zonas intermitentes fue irregular e impredecible, a veces porque los operadores carecían de capacidad adecuada para monitorear las condiciones de la red. A pesar de presiones bajas y negativas en las zonas intermitentes, salvo durante algunas reparaciones de roturas y algunos eventos de primera descarga, la calidad de agua se mantuvo consistentemente dentro de las normas Panameñas para turbiedad, coliformes totales y *E. coli* y las normas de la OMS para cloro residual libre. El caudal entrante per cápita y los caudales nocturnos eran altos en las tres zonas donde se midió el caudal entrante, indicando altos niveles de pérdidas, particularmente en las zonas intermitentes. Aunque no se vio una relación general entre las roturas y el IWS, en el caso del bombeo intermitente se observaron sobrepresiones transitorias y altas tasas de roturas.

La comparación entre las condiciones observadas en las diferentes zonas de este estudio y otra red estudiada previamente en Hubli-Dharwad, India permitió confirmar que las condiciones bajo el IWS pueden variar mucho entre diferentes sistemas intermitentes y dentro de diferentes partes de la misma red intermitente. Por otra parte, se identificaron varios métodos de monitoreo que los operadores pueden usar para entender mejor y controlar las condiciones en redes intermitentes.

Existen muchas oportunidades de mejorar el servicio en sistemas intermitentes, monitoreando el sistema de distribución y su operación, mejorando las prácticas operativas y reduciendo las pérdidas de agua. Tales medidas de gestión deberían ser consideradas complementarias o en reemplazo de inversiones más costosas que requieran aumentar la capacidad hidráulica de los sistemas de distribución o de producción de agua. Para que tales medidas resulten efectivas y sostenibles, deben incluir la capacitación y ser implementadas con el máximo involucramiento posible del personal de la empresa proveedora de agua.

