

**Investigación de los Efectos del Suministro Intermitente de Agua
Potable en la Calidad de Agua y la Infraestructura**

(ATN/OC-14360-RG)

Informe Final

7 de marzo de 2016

Dra. Kara L. Nelson

John Erickson

**Blum Center for Developing Economies y Department of Civil and Environmental
Engineering**

University of California Berkeley

Resumen ejecutivo

El suministro intermitente de agua potable

El suministro intermitente sucede cuando una entidad prestadora de servicios de agua potable no puede mantener una presión positiva a la vez en toda la red de distribución, debido a los recursos hídricos insuficientes, la infraestructura inadecuada, el consumo excesivo de agua potable, la pérdida excesiva de agua potable en la red, o una combinación de estos factores. Además de ser un inconveniente para el usuario y complicar la operación de la red de distribución, el suministro intermitente se considera un riesgo para la calidad microbiológica del agua, debido a: i) la intrusión de agua subterránea por vía de fugas en tuberías enterradas o el reflujo de agua contaminada por tomas domiciliarias durante periodos de presión baja o negativa;¹ ii) el potencial para el crecimiento de microorganismos en el agua y en biocapas en las paredes de las tuberías cuando no hay suministro y el agua queda estancada en las tuberías;² y iii) la recontaminación y el crecimiento microbiológico durante el almacenamiento domiciliar.³ También se ha planteado que el suministro intermitente puede provocar presiones transitorias que dañan a las tuberías.⁴

Evaluación de los efectos del suministro intermitente en Arraiján, Panamá

Este proyecto evaluó los efectos del suministro intermitente en la red de distribución de Arraiján, Panamá. Arraiján es un área periurbana de crecimiento rápido, ubicada directamente al oeste de la ciudad de Panamá y al este de La Chorrera, cuya población estimada en 2014 era de 263.000 habitantes. El período de estudio transcurrió entre octubre del 2013 y agosto del 2015.

La red de agua potable de Arraiján es operada por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales de Panamá (IDAAN) y se abastece de tres plantas potabilizadoras (Miraflores, Laguna Alta y Mendoza) operadas por otras entidades que venden agua en bloque al IDAAN. A pesar de que la red de Arraiján recibe diario un promedio de 155 galones por persona de producción de agua potable,⁵ muchos usuarios del IDAAN en Arraiján reciben un suministro deficiente. La red tiene una tasa de agua no facturada de 53%, la cual incluye pérdidas físicas y comerciales.⁶ Algunas áreas tienen un suministro deficiente crónico porque tienen una capacidad de distribución local (diámetro de tubería o capacidad de bombeo) insuficiente para abastecer la demanda de agua en el área o porque se abastecen de partes de la red principal que frecuentemente pierden presión cuando la capacidad de la red entera está superada por la alta demanda (por ejemplo, un domingo

¹ Besner M-C., Broséus R., Lavoie J., Giovanni G.D., Payment P., Prévost M. 2010. Pressure Monitoring and Characterization of External Sources of Contamination at the Site of the Payment Drinking Water Epidemiological Studies. *Environ. Sci. Technol.* 44:269–277; Gadgil A. 1998. Drinking Water in Developing Countries. *Annual Review of Energy and the Environment* 23:253–286; Lee E.J., Schwab K.J. 2005. Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries.

² Coelho S.T., James S., Sunna N., Abu Jaish A., Chatila J. 2003. Controlling water quality in intermittent supply systems. *Water Supply* 3:119–125.

³ *Ibid.*; Lee y Schwab. Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries.

⁴ Charalambous B. 2011. The hidden costs of resorting to intermittent supplies. *Water21, IWA*.

Lee y Schwab. Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries.

⁵ Esta tasa se calcula para 2014 en base a la producción (datos del Departamento de Distribución y Control de Pérdidas, Sección de Macromedición) y la población beneficiada (IDAAN. Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014).

⁶ Esta tasa se calcula para 2014 en base de la producción (datos del Departamento de Distribución y Control de Pérdidas, Sección de Macromedición) y el volumen facturado (IDAAN. Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014).

cuando muchos usuarios están en casa) o por una rotura. Algunos usuarios del IDAAN no reciben agua por tubería y se abastecen de camiones cisternas contratados por el IDAAN.

Aun cuando la red de Arraiján es una red de distribución bastante compleja, abastecida por tres plantas potabilizadoras y con 27 estaciones de bombeo, la regional del IDAAN la opera con poca información sobre el estado de la misma. Por ejemplo, la cobertura de telemetría es muy limitada y el IDAAN solo puede saber el estado de 26 de las estaciones de bombeo con visitas al campo.

Para estudiar los efectos de los diferentes tipos de suministro intermitente, se seleccionaron cuatro zonas de estudio en Arraiján con diferentes situaciones de suministro: El Cristal (CR) con suministro continuo, 7 de Septiembre (7S) con interrupciones de suministro ocasionales por el vaciado de un tanque de almacenamiento, La Alameda (AL) con suministro intermitente controlado por una válvula operada para estar abierta por 3 días y cerrada por 3 días, y Vista Bella (VB) con suministro intermitente controlado por el apagado y el encendido de una estación de bombeo. Las cuatro zonas de estudio se encuentran en la misma parte 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.

Se estudiaron los efectos del modo de suministro en cada zona a través del monitoreo continuo y la colección de muestras puntuales. Parámetros de monitoreo continuo fueron la presión, el caudal, la turbiedad y el cloro libre residual. Las muestras puntuales se analizaron para la turbiedad, el cloro libre residual, coliformes totales, *E. coli*, bacterias de conteo de placa heterotrófica, y bacterias aeróbicas formadoras de esporas. Las muestras puntuales de agua se tomaron de las tuberías de distribución y de los grifos domiciliarios durante el suministro normal y también durante la primera descarga cuando empezó el suministro. El monitoreo continuo y la toma de muestras puntuales se realizaron en la(s) entrada(s) de cada zona y también en un punto aguas abajo en cada zona. El monitoreo de entrada permitió medir la presión, el caudal y la calidad del agua entrante, factores afectados por el comportamiento de la red de distribución aguas arriba de la zona. Con el monitoreo aguas abajo, dentro de las zonas, se pudo monitorear el horario y presión de suministro en los puntos aguas abajo de la zona y evaluar si la calidad de agua cambió desde la entrada hasta el punto aguas abajo. Para caracterizar la calidad de agua llegando a la parte de la red de Arraiján que se estudió, también se tomaron muestras puntuales de las líneas de conducción provenientes de las dos plantas potabilizadoras que abastecen al área. En tres de las zonas, con base en un censo de viviendas en cada zona y de algunos datos de micromedición, se pudieron realizar cálculos aproximados de consumos y agua no facturada.

También se analizó la calidad (cloro libre residual, coliformes totales, *E. coli*) del agua que los usuarios tenían almacenada para beber. Por otra parte, a nivel de la red entera de Arraiján, se hizo un análisis de la incidencia de roturas de tuberías.

Resultados

Horario del suministro intermitente

Usando el monitoreo continuo de presión, se caracterizó con detalle el horario del suministro en las cuatro zonas de estudio por un periodo de un año. Durante el periodo de estudio, el agua se bombeaba hacia VB 87% del tiempo, las partes más altas de 7S tenían suministro 83% del tiempo,

AL tenía suministro 57% del tiempo y CR tenía suministro 99% del tiempo. Las interrupciones en el suministro normalmente no seguían un horario previsible o confiable, creando una situación inconveniente para los usuarios. En 7S, las interrupciones ocurrieron cuando el Tanque del Millón, que abastece al sector, se vaciaba debido a falta de presión en la red principal del área causada por una rotura importante, el paro de una planta potabilizadora o una estación de bombeo, o por alto consumo. Muchas veces las interrupciones ocurrían durante la tarde o los fines de semana, cuando el consumo era más alto. El IDAAN podría anticipar estas interrupciones por el nivel del tanque, pero los usuarios no tenían manera de anticiparlas. Las interrupciones en VB ocurrieron cuando la estación de bombeo que abastece a esa zona paró, debido a falta de presión en la red principal o por problemas eléctricos. Como no había manera para monitorear el nivel del tanque de succión del bombeo, ni el IDAAN ni los usuarios podían anticipar cuando estas interrupciones iban a ocurrir. En AL, el horario del suministro programado de “3 días con suministro y 3 días sin suministro” no se seguía estrictamente y hubo tres interrupciones de suministro de más de 6 días a causa de roturas de tuberías. Aun en las partes de la red con suministro continuo había interrupciones imprevistas por grandes roturas y paros de las plantas potabilizadoras. Por ejemplo, en CR, durante el año del estudio, hubo cuatro interrupciones de más de 9 horas cada una.

Calidad del agua

Con muy pocas excepciones, las muestras rutinarias de las cuatro zonas de estudio estaban dentro de las normas panameñas COPANIT para turbiedad, coliformes totales y *E. coli*.⁷ Sin embargo, el 38% de las muestras presentaba valores de cloro residual libre inferiores a los 0.8 mg/L exigidos por la norma COPANIT si bien todas tenían por lo menos 0.3 mg/L y así cumplían con la recomendación de la Organización Mundial de la Salud que agua de la red de distribución debe tener por los menos 0.2 mg/L.⁸ Los resultados del muestreo puntual rutinario fueron similares a los resultados del muestreo puntual que el IDAAN realizó en la misma parte de la red de Arraiján durante los mismos meses. Tanto el monitoreo continuo como el muestreo puntual rutinario mostraron que, aparte de la primera descarga (cuando el suministro empieza después de una interrupción), el IDAAN mantuvo constantemente una concentración de cloro libre residual en las zonas de estudio. Sin embargo, los resultados del muestreo del IDAAN en otras partes de la red de Arraiján indican que hay áreas sin suficiente cloro residual.

Se encontró mayor incidencia de alta turbiedad y coliformes durante los eventos de la primera descarga. De 33 eventos de primera descarga, durante 20 eventos una o más muestras presentaron turbiedad por encima de la norma panameña de 1.0 NTU; durante seis eventos había una o más muestras por encima de la norma panameña para coliformes totales de 3 NMP (número más probable) por 100 mL; y durante cuatro eventos había una o más muestras positivas para *E. coli*. En 13 de los 33 eventos, todas las muestras cumplían con las normas panameñas para coliformes, *E. coli* y turbiedad. En seis de los 29 eventos donde se analizaron las muestras para cloro había una o más muestras con cloro por debajo de 0.2 mg/L. Con la excepción de un evento cuando había presencia de coliformes totales después de 45 minutos de suministro, los coliformes y el *E. coli* sólo se encontraron durante los primeros 20 minutos del suministro, probablemente porque

⁷ Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. “Agua Potable. Definiciones y Requisitos Generales.”

⁸ World Health Organization. 2011. “Guidelines for drinking water quality, fourth edition.”

después de este tiempo contaminación que podría haber infiltrado o crecido dentro de las tuberías durante la interrupción de suministro ya se había lavado de la red. . En algunas ocasiones después de las roturas y la reparación de tuberías, se encontró agua con alta turbiedad en el muestreo rutinario y de la primera descarga, lo cual indica la necesidad de mejorar las prácticas de reparación.

Con el monitoreo continuo, se encontraron presiones bajas y negativas que representan riesgos de intrusión del agua subterránea en las tuberías y de reflujo desde los grifos domiciliarios o las mangueras que los usuarios usan para llenar sus tanques de almacenamiento. A pesar de estos riesgos, se encontró una baja incidencia de turbiedad, coliformes y *E. coli* en las muestras de calidad de agua, especialmente en las muestras rutinarias. La baja incidencia de contaminación se podría deber al cloro residual constante en las zonas de estudio o a la falta de fuentes de contaminación. Aunque son indicadores tradicionales para la calidad de agua en la red de distribución, cabe notar que los coliformes totales y el *E. coli* son más vulnerables a la desinfección con cloro que algunos patógenos que pueden contaminar el agua potable (por ejemplo, ooquistes de *Cryptosporidium*). Así que es posible que si bacterias coliformes y otros organismos patogénicos ingresaron a la red durante un evento de intrusión, los otros organismos patogénicos podrían haber persistido aunque los coliformes fueron inactivados por el residuo de cloro. Los resultados de calidad de agua indican que el suministro intermitente en estas zonas de Arraiján, probablemente, presenta un menor riesgo para la calidad del agua que el suministro intermitente en algunos otros sistemas de agua potable que se han estudiado en otros países, pero no niegan el hecho de que el suministro intermitente en Arraiján siempre es un riesgo para la calidad de agua.

En lo que respecta a los depósitos domiciliarios, 10% de las muestras de agua almacenada resultaron positivas para *E. coli* y 26% tuvieron una concentración de coliformes totales por encima de 10 NMP por 100 mL, valor máximo establecido por la norma panameña para agua no distribuida por tubería.⁹ Considerando que la presencia de coliformes totales fue del orden del 5% en las muestras de primera descarga tomadas en la red, puede estimarse que hay incidencia de contaminación durante el proceso de almacenamiento domiciliario.

Cantidad de suministro y pérdidas

Las mediciones de caudal mostraron que el caudal promedio entrante en cada zona fue alto en comparación con el consumo facturado y el consumo medido donde hay medidores. El caudal entrante estimado de 948 galones por construcción (casa o negocio) por día para la zona 7S fue particularmente alto comparado con los 586 y 467 galones en CR y AL respectivamente. Esto, sumado a que los clientes medidos en 7S consumieron menos agua por cliente que los de CR y que hay menor cantidad de personas por vivienda en 7S que en CR indica la posibilidad de una gran fuga no visible en 7S. En cada una de las tres zonas de estudio, el caudal promedio entrante durante la hora de caudal mínimo (durante la madrugada) fue igual a 73% o más del caudal promedio entrante durante la hora de caudal máximo. En AL hay clientes que sólo tienen suministro durante las horas de la madrugada y, por eso, ellos podrían acumular agua durante esas horas; pero en CR y la gran mayoría de 7S, los clientes normalmente tienen agua las 24 horas. En esas zonas, la gran parte del caudal entrante durante la madrugada se debe de perder, ya sea por

⁹ Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. “Agua Potable. Definiciones y Requisitos Generales.”

fugas en la red o dentro de la plomería domiciliaria Durante el mes de julio de 2015, el consumo facturado en 7S y CR fue 25% y 61% de la cantidad de agua que entró a la respectiva zona.

El suministro intermitente y las roturas

El análisis de los registros de la reparación de roturas durante un periodo de 3 años mostró que la tasa de roturas en 13 de las 142 zonas analizadas en Arraiján fue de más de 4 roturas por km de tubería por año, mucho más alta que el promedio de 1.42 roturas por km por año para toda la red. El 26% de todas las roturas ocurrieron en estas zonas, aun cuando sólo tienen 3.8% de las tuberías. En algunas zonas, como VB, una alta tasa de roturas estuvo asociada con presiones extremas que resultan del bombeo intermitente. Sin embargo, aparte de estas situaciones de bombeo intermitente, no se encontró una fuerte relación general entre el suministro intermitente y las roturas.¹⁰

Utilidad de diferentes métodos de monitoreo

Este proyecto fue una oportunidad para evaluar la utilidad de varios métodos de monitoreo en una red de distribución intermitente. Resultados del monitoreo continuo de presión y caudal mostraron que estos métodos son útiles para cuantificar el horario de suministro que los usuarios reciben, identificar presiones extremas (altas y negativas) que pueden dañar las tuberías y son un riesgo para la calidad del agua, detectar roturas e identificar áreas de la red de distribución donde el caudal entrante es mayor de lo que se esperaría. Aunque el monitoreo continuo de la turbiedad y el cloro residual libre fue útil para esta investigación, no se recomienda para el monitoreo rutinario de las zonas de estudio, dado que estas zonas no presentan problemas con cloro y turbiedad. Sin embargo, hay partes de la red de Arraiján con concentraciones bajas de cloro, y el monitoreo continuo podría ser útil en esas partes.

Como se esperaba, el muestreo puntual de la primera descarga y del agua almacenada identificó problemas de calidad de agua que el muestreo rutinario no identificó. El muestreo puntual rutinario es una buena herramienta para evaluar la calidad del agua durante condiciones normales, y es representativo del agua que consumiría un usuario, que evita el agua de la primera descarga y practica el almacenamiento seguro. Para estos propósitos, el muestreo rutinario que el IDAAN ya hace parece ser suficiente, pero para que refleje la variedad de situaciones que se encuentran en la red, el IDAAN debe de incluir más zonas con suministro intermitente en sus puntos de muestreo mensual. El muestreo de la primera descarga podría ayudar a identificar partes de la red o condiciones de suministro asociadas con un mayor riesgo para la intrusión. El muestreo del agua almacenada se podría usar para evaluar la eficacia de los métodos de almacenamiento domiciliar actuales para proteger la calidad de agua, y como se podrían mejorar.

Recomendaciones

Con base en los resultados, se hacen algunas recomendaciones al IDAAN para mejorar el suministro en la red de Arraiján. Las mismas estrategias se podrían aplicar a otras redes de distribución en América Latina y el Caribe con situaciones de suministro intermitente parecidas. Las recomendaciones se dividen en recomendaciones específicas para las zonas de estudio intermitentes y recomendaciones generales para Arraiján.

¹⁰ El Anexo D presenta la tasa de roturas en cada zona de Arraiján y también la continuidad del suministro.

Recomendaciones específicas para las zonas de estudio intermitentes

7 de septiembre: Tomando en cuenta la gran cantidad de agua que aparentemente se pierde en las fugas dentro de este sector, la reducción de las pérdidas de agua dentro del sector deberá ser parte integrante de acciones tendientes a dar continuidad al suministro.

Alameda: Si no se mejoran el balance de agua en la zona y la capacidad de la estación que bombea agua hacia AL, será difícil lograr allí un suministro continuo. Afortunadamente, los proyectos que están actualmente en ejecución en el sector de Burunga están diseñados para mejorar el suministro en la zona. En el interín, aun con el horario de “3 días con agua, 3 días sin agua,” se podría establecer un suministro más conveniente para los usuarios al mantener un horario confiable para la apertura y el cierre de la válvula que controla el sector. Si los usuarios saben exactamente qué día y a qué hora va a llegar el agua, pueden programar mejor su consumo y almacenamiento.

Vista Bella: Los paros de la estación de bombeo que bombea directamente a la red de VB causan interrupciones de suministro y roturas en la línea que conduce agua a la zona. Para evitar interrupciones en el suministro se debe analizar la posibilidad de construir un tanque de reserva adonde llegaría toda el agua proveniente de la estación de bombeo antes de distribuirse a VB. Independientemente de definir la necesidad de construir un tanque de reserva, se podría reducir la duración de los paros con un sensor de presión en la descarga de la estación de bombeo con telemetría, para alertar a los operadores cuando las bombas se paran y hay que arrancarlas. Para proteger la línea de conducción de presiones transitorias, el IDAAN debe instalar estructuras anti golpe de ariete después de la estación de bombeo.

Recomendaciones generales:

1. Crear una unidad regional de personal dedicada a la optimización de la red de distribución y la implementación de las recomendaciones 2 a 5.
2. Implementar un programa robusto para la reducción de agua no facturada.
3. Implementar un monitoreo continuo de presión y caudal en los puntos críticos de la red para evaluar el horario del suministro que los usuarios reciben; identificar las presiones extremas que pueden resultar en el daño de las tuberías y poner en riesgo la calidad del agua; e identificar las zonas donde la cantidad de agua entrante es mayor de la que se esperaría, posiblemente debido a fugas no visibles.
4. Mejorar la comunicación entre el IDAAN y los usuarios en las zonas con un suministro deficiente para identificar y responder a problemas de servicio lo más pronto posible.
5. Mitigar los problemas hidráulicos identificados por este proyecto y por un monitoreo futuro. Las presiones negativas y las presiones altas podrían causar roturas e intrusiones de agua contaminada.
6. Verificar y mantener niveles mínimos de cloro libre residual, especialmente en zonas críticas lo cual puede proporcionar alguna protección contra la contaminación microbiológica debida a un evento de intrusión.
7. Mejorar las prácticas de reparación para minimizar la contaminación que resulta de roturas y reparaciones. Instalar hidrantes o válvulas de purga donde no hay, y utilizarlos para lavar las tuberías después de las reparaciones.

8. Implementar un programa para enseñar a los usuarios evitar el consumo del agua de la primer descarga, evitar el refluo y evitar la contaminación del agua almacenada en el domicilio.
9. Incluir acciones de mejora del manejo de información de infraestructura y operaciones, la sectorización de la red, y el mantenimiento y reemplazo estratégico de las tuberías.

Tabla de contenidos

Agradecimientos	4
Siglas y abreviaturas	5
1. Introducción	6
2. Repaso de la bibliografía	7
2.1. Las causas del suministro intermitente	7
2.2. Efectos del suministro intermitente	7
2.2.1. Inconveniencia para los usuarios	7
2.2.2. Complicaciones operativas	8
2.2.3. Efectos en la calidad del agua	8
2.2.4. Incidencia sobre roturas y fugas en las tuberías.....	10
2.3. Contribución de este proyecto	11
3. Descripción del área de estudio: Arraiján, Panamá	11
3.1. Delimitación del área de estudio.....	11
3.2. El sistema de agua potable de Arraiján.....	12
3.3. Producción, costos, continuidad de servicio y facturación	13
3.4. Desafíos operativos	15
3.5. Monitoreo de la calidad del agua	16
3.6. Mejoras en marcha y planeadas	17
4. Descripción de zonas de estudio	18
5. Monitoreo continuo de presión, caudal y calidad del agua.....	26
5.1. Métodos.....	26
5.1.1. Estaciones de monitoreo	26
5.1.2. Sensores y equipos	27
5.1.3. Rotación y calibración de equipos	27
5.1.4. Análisis de datos	27
5.2. Resultados	28
5.2.1. Patrón (o falta de patrón) del suministro intermitente	28
5.2.2. Presiones transitorias, extremas y negativas.....	31
5.2.3. Roturas de tuberías.....	34
5.2.4. Eventos de turbiedad alta	34

5.2.5. Monitoreo de cloro residual	36
6. Muestreo puntual para calidad del agua.....	38
6.1. Métodos.....	38
6.1.1. Muestreo rutinario.....	38
6.1.2. Muestreo de la primera descarga	38
6.1.3. Muestreo del agua almacenada	39
6.2. Resultados	39
6.2.1. Muestreo rutinario.....	39
6.2.2. Muestreo de la primera descarga	42
6.2.3. Muestreo del agua almacenada	44
7. Estimación de pérdidas	49
7.1. Métodos.....	49
7.1.1. Estimación del caudal entrante	49
7.1.2. Estimación de consumo y pérdidas.....	49
7.2. Resultados	50
8. Análisis de roturas.....	53
8.1. Métodos.....	53
8.2. Resultados	53
9. Comentarios sobre el trabajo operativo de las zonas de estudio.....	56
9.1. Generalidades.....	56
9.2. Vista Bella.....	56
9.3. La Alameda	58
10. Discusión y Conclusiones	60
10.1. Condiciones en la red de distribución de Arraiján bajo un suministro intermitente.....	60
10.1.1. Horario del suministro intermitente	60
10.1.2. Calidad del agua.....	60
10.1.3. Cantidad de suministro y pérdidas	62
10.1.4. El suministro intermitente y las roturas	63
10.2. Utilidad de diferentes métodos de monitoreo	63
10.3. Recomendaciones específicas con respecto a las zonas intermitentes de estudio	64
10.3.1. 7 de Septiembre.....	64
10.3.2. Alameda	64

10.3.3. Vista Bella.....	65
10.4. Recomendaciones generales	65
10.4.1. Crear una unidad de personal dedicada a la optimización de la red de distribución	65
10.4.2. Implementar un programa fuerte para la reducción de agua no facturada.....	65
10.4.3. Implementar un monitoreo continuo de presión y caudal en puntos críticos de la red	66
10.4.4. Mejorar la comunicación entre el IDAAN y los usuarios en zonas con suministro deficiente.....	67
10.4.5. Mitigar los problemas hidráulicos identificados por este proyecto y monitoreo futuro	67
10.4.6. Mantener niveles constantes de cloro libre residual	67
10.4.7. Modificar las técnicas de reparación para proteger mejor la calidad del agua	68
10.4.8. Implementar un programa para enseñar a los usuarios evitar el consumo del agua de la primar descarga, evitar el reflujo y evitar la contaminación del agua almacenada en el domicilio	68
10.4.9. Implementar mejores prácticas para el manejo de una red de distribución	68
10.5. Ahorros y mejoras en el servicio resultarán de mejoras de monitoreo y control.....	69
Anexo A. Informe de aislamiento de zonas de estudio.....	70
Zona 1: El Cristal (CR)	70
Zona 2: Siete de Septiembre (7S)	70
Zona 3: La Alameda (AL).....	72
Zona 4: Vista Bella (VB)	73
Anexo B. Datos adicionales para periodos sin agua	75
Anexo C. Métodos de muestreo y análisis para el muestreo puntual de la calidad del agua.....	78
C.1. Métodos de muestreo	78
C.1.1. Muestreo rutinario	78
C.1.2. Muestreo de la primera descarga.....	78
C.2. Métodos de análisis	78
C.2.1. Cloro libre residual.....	78
C.2.2. Turbiedad	78
C.2.3. Coliformes totales, E. coli, y HPC	78
C.2.4. Bacterias formadoras de esporas	79
Anexo D. Datos de roturas.....	80

Agradecimientos

Agradecemos a las personas y las instituciones que contribuyeron a este proyecto. El proyecto no habría sido posible sin la participación y el permiso del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales de Panamá (IDAAN). Específicamente, agradecemos a la Ing. Yamileth Quintero, Gerente Regional del IDAAN en Arraiján, por su apoyo constante al proyecto aun cuando muchos otros asuntos urgentes requerían su atención, y por brindar datos y consejos para la elaboración de este informe; a Mauro Romero, Luis Navarro, Higinio Domínguez, Cesar Bustamante, y Alcibiades Muñoz por sus explicaciones del funcionamiento de la red de Arraiján y por coordinar el apoyo que el IDAAN brindó en el campo; a la Lic. Teodora de Lezcano, Rosemary Quirós y Jessica Batista por facilitar nuestro uso del laboratorio del IDAAN en Panamá Oeste y pacientemente compartir su experiencia en técnicas de laboratorio; a Agustín Miranda por elaborar las cajas metálicas que protegían los equipos de monitoreo durante el estudio; y a todo el otro personal del IDAAN en Arraiján, La Chorrera y la oficina central quienes apoyaron el proyecto.

El proyecto tampoco habría sido posible sin la ayuda de los residentes de Arraiján quienes abrieron las puertas de sus casas para participar en entrevistas y para permitir el muestreo de su agua.

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

El Dr. Amador Goodridge y el Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT) prestaron un espacio y equipos para trabajar en su laboratorio. La Lic. Dilcia Sambrano de INDICASAT brindó consejos técnicos sobre el análisis microbiológico.

Maryanne McCormick y Heather Lofthouse del Blum Center for Developing Economies ayudaron establecer la colaboración con el BID.

La Dra. Charlotte Smith de UC Berkeley, el Ing. Reinhard Sturm de Water Systems Optimization y el Ing. Paul West de Smart Water Systems dieron consejos valiosos sobre los aspectos técnicos del proyecto.

La Ing. María Alejandra Perroni y el Ing. Stefan Buss del BID proporcionaron asesoría durante el transcurso del proyecto y apoyaron con la edición de este informe, y el Dr. Fernando Miralles-Wilhelm ayudó a arrancar el proyecto. El Ing. Gustavo Martínez de la representación del BID en Panamá dio asesoría muy útil durante la planificación del proyecto.

La Lic. Sandra Robles Gil editó este informe.

Adicionalmente al financiamiento principal del BID, el proyecto fue apoyado económicamente por becas para John Erickson del National Science Foundation (NSF) de EEUU (Graduate Fellowship); USAID (Research and Innovation Fellowship); American Water Works Association (Mueller Systems Scholarship); y el Center for Emerging and Neglected Diseases de UC Berkeley (Science and Engineering for Global Health Fellowship), una donación semilla del Blum Center for Developing Economies (UC Berkeley) y una subvención (OISE-1031194) de NSF a través del programa de International Research Experiences for Students.

Siglas y abreviaturas

7S	7 de Septiembre (una de las zonas de estudio)
AA	Punto de monitoreo continuo en la parte aguas abajo de una zona
ACP	Autoridad del Canal de Panamá
ADERASA	Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de Las Américas
AL	La Alameda (una de las zonas de estudio)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CR	El Cristal (una de las zonas de estudio)
LC	Loma Cova
EB-2000	Estación de Bombeo Generación 2000
EB-VB	Estación de Bombeo Vista Bella
ENT	Punto de monitoreo continuo en la entrada de una zona de estudio
EPS	Entidad Prestadora de Servicios
GPCRD	Galones Por Construcción Por Día
GPM	Galones Por Minuto
HPC	(bacterias) de Conteo de Placa Heterotróficas
IDAAN	Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales de Panamá
NC	Nuevo Chorrillo
NMP	Número Más Probable
RTU	Unidad de Telemetría Remoto (por sus siglas in inglés)
SIG	Sistema de Información Geográfica
THM	Trihalometanos
VB	Vista Bella (una de las zonas de estudio)

1. Introducción

El suministro intermitente sucede cuando una entidad prestadora de servicios (EPS) de agua potable no puede mantener una presión positiva a la vez en toda la red de distribución, debido a los recursos hídricos insuficientes, la infraestructura inadecuada, el consumo excesivo de agua potable, la pérdida excesiva de agua potable en la red o una combinación de estos factores. Es difícil estimar la cantidad de personas en América Latina y el Caribe que actualmente se ven afectadas por un suministro intermitente, pero los datos disponibles indican que es un problema común. Según estadísticas preparadas por la Organización Panamericana de Salud y la Organización Mundial de Salud, aproximadamente 60% de las viviendas con conexiones a agua potable por tubería en Latinoamérica y el Caribe tenían un suministro intermitente en el año 2001.¹¹ Datos de una encuesta por el Sistema Nacional de Información Sanitaria de Brasil en 2011 indicaron que alrededor de 40% de viviendas en el país con conexiones al agua potable por tubería sufrieron algún tipo de intermitencia durante el año.¹² En una encuesta en el 2010 realizada a viviendas de nueve grandes ciudades de México, 40% de los encuestados respondieron que el suministro de agua se cortaba a veces, seguido, o muy seguido.¹³ Como se detalla en la siguiente sección, el suministro intermitente es inconveniente para los usuarios, complica la operación de una red de agua potable, y puede perjudicar la calidad del agua suministrada y la salud pública.

El suministro intermitente, la calidad del agua y la condición de las tuberías de distribución se encuentran interrelacionados. Las tuberías en malas condiciones pueden ocasionar mayores pérdidas de agua, las cuales pueden generar un suministro intermitente. También se ha planteado que el suministro intermitente causa más daño a las tuberías, empeorando la situación. Finalmente, tanto el suministro intermitente como la mala condición de las tuberías pueden perjudicar la calidad del agua a través de la intrusión o el crecimiento de microorganismos.

A pesar de estas preocupaciones, poca investigación hasta la fecha se ha enfocado en los efectos del suministro intermitente en la calidad del agua y la condición de las tuberías. Con el fin de entender mejor estas relaciones, en este proyecto se han investigado los efectos del suministro intermitente en algunos sectores de la red de distribución de agua potable de Arraiján, Panamá; un área periurbana de crecimiento rápido ubicada al oeste de la ciudad de Panamá, cuya población estimada en 2014 era de 263,000 habitantes

La red de Arraiján, operada por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales de Panamá (IDAAN), fue seleccionada como el sitio de estudio por razones técnicas e institucionales. Técnicamente, la variedad de situaciones en el suministro intermitente que se encuentra en el área, diferenciándose en su severidad y en la manera en que el IDAAN controla el suministro, brindaron la oportunidad de estudiar los efectos de los diferentes tipos del suministro intermitente. Institucionalmente, el IDAAN mostró interés desde el principio en participar en el proyecto, y apoyó con la recolección de datos.

¹¹ Pan American Health Organization, World Health Organization. 2001. Regional Report on the Evaluation 2000 in the Region of the Americas.

¹² <http://www.snis.gov.br/>

¹³ IADB. "Complete results (in Spanish) of Mexico bottled water survey." Julio de 2012. Dispositivo 10. <http://www.iadb.org/document.cfm?id=36984661>.

El IDAAN y otras EPS en la región están llevando a cabo programas de inversión ambiciosos, muchos de ellos con apoyo financiero y técnico del BID, para rehabilitar y mejorar la infraestructura de agua potable, con la meta de reducir u eliminar las situaciones del suministro intermitente. Se espera que los resultados de este proyecto ayuden con la generación de estrategias efectivas y eficientes para esos proyectos.

2. Repaso de la bibliografía

2.1. Las causas del suministro intermitente

Aunque normalmente las redes de distribución de agua potable se diseñan para ser operadas de manera continua, muchas se operan intermitentemente por necesidad.¹⁴ En algunos casos, particularmente en ambientes secos, el problema es la escasez de recursos hídricos.¹⁵ Aun si hay suficientes recursos hídricos disponibles, capacidades de tratamiento y distribución inadecuadas también pueden causar que el suministro sea intermitente.¹⁶ Sin embargo, en muchos casos la producción de agua y la capacidad de distribución son suficientes y el suministro es aún intermitente por los altos niveles de pérdidas de agua en la red de distribución y en los domicilios.¹⁷ Muchas veces, existen factores de trasfondo, como el crecimiento no planificado, el mantenimiento inadecuado de la infraestructura de distribución y la falta de información sobre la red, que contribuyen con el suministro intermitente.¹⁸

2.2. Efectos del suministro intermitente

El suministro intermitente puede tener efectos problemáticos tanto para los usuarios, como para la EPS que opera la red de distribución y para la calidad del agua. También existe la preocupación de que el suministro intermitente puede dañar las tuberías de distribución.

2.2.1. Inconveniencia para los usuarios

Un suministro intermitente es un inconveniente para los usuarios, quienes tienen que ajustar su horario de consumo o invertir en tanques de almacenamiento.¹⁹ Un estudio en Hubli-Dharwad, dos ciudades gemelas en la India, encontró que usuarios con un suministro intermitente allí gastaron una gran cantidad de dinero en tanques y recipientes para almacenar agua y motores para succionar agua de la red de distribución; además, emplearon una cantidad significativa de tiempo recolectando agua de otras fuentes, esperando a que ésta llegara y recolectándola una vez que

¹⁴ Vairavamoorthy K., Gorantiwar S., Mohan S. 2007. Intermittent Water Supply under Water Scarcity Situations. *Water Int.* 32:121–132.

¹⁵ Rosenberg D.E., Talazi S., Lund J.R. 2008. Intermittent water supplies: challenges and opportunities for residential water users in Jordan. *Water International* 33:488–504.

¹⁶ Klingel P. 2012. Technical causes and impacts of intermittent water distribution. *Water Science & Technology: Water Supply* 12:504.

¹⁷ Yepes G., Ringskog K., Sarkar S. 2001. The High Cost of Intermittent Water Supplies. *Journal of Indian Water Works Association* 33.

¹⁸ Klingel. Technical causes and impacts of intermittent water distribution.

¹⁹ McIntosh A.C., Asian Development Bank, International Water Association. 2003. *Asian water supplies: reaching the urban poor.* Asian Development Bank; International Water Association, Manila, Philippines; London; Lee E.J., Schwab K.J. 2005. Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries. *Journal of Water and Health* 3:109–127.

llegó.²⁰ Los resultados de ese estudio indicaron que cuando el suministro es intermitente los usuarios prefieren que los periodos de suministro sean predecibles, de mayor duración y más frecuentes.²¹

2.2.2. *Complicaciones operativas*

El suministro intermitente también puede complicar la operación de la red de distribución. En algunos casos, los operadores gastan tiempo y recursos operando las válvulas para mandar agua a diferentes sectores de la red. Los métodos de detección de fugas tradicionales son más difíciles de aplicar a las redes intermitentes,²² la micromedición puede tener más errores²³ y los métodos de modelación hidráulica que se usan para redes de suministro continuo no capturan algunas de las complejidades del suministro intermitente.²⁴ Todos estos factores hacen que el monitoreo, la operación y el mantenimiento de una red intermitente sea más difícil. El suministro intermitente también dificulta la distribución equitativa del agua. Muchas veces los usuarios situados en zonas bajas pueden recolectar más agua porque la reciben antes y con mayor presión que los usuarios en zonas altas.²⁵

2.2.3. *Efectos en la calidad del agua*

El suministro intermitente se considera un riesgo para la calidad microbiológica del agua, debido a: i) la intrusión de agua subterránea por vía de fugas en tuberías enterradas o el reflujo de agua contaminada por tomas domiciliarias durante los periodos de presión baja o negativa;²⁶ ii) el potencial para el crecimiento de microorganismos en el agua y en las biocapas en las paredes de las tuberías, cuando no hay suministro y el agua queda estancada en las tuberías;²⁷ y iii) la recontaminación y el crecimiento microbiológico durante el almacenamiento domiciliar.²⁸

²⁰ Burt, Z., Ercumen, A., Kumpel, E., Colford, J., Nelson, K., & Ray, I., “Costs and Benefits of an Upgrade to Continuous Water Service in Hubli-Dharwad, India” 2015. Water and Health Conference, 26-30 de octubre, 2015. University of North Carolina at Chapel Hill.

²¹ Burt, Z., VanGordon, M., and Vij, A. “Continuous Piped Water or Improved Intermittency? Willingness to Pay for Improved Piped Water Services in Hubli-Dharwad, India”. 11th Annual Meeting of the International Water Resource Economics Consortium (IWREC) 7-9 de septiembre, 2014. World Bank Headquarters, Washington, D.C.

²² Kumar A. 1992. Management of intermittent supplies. 18th WEDC Conference, Water, Environment and Management, Kathmandu, Nepal.

²³ Criminisi A., Fontanazza C.M., Freni G., Loggia G.L. 2009. Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. *Water Science & Technology* 60:2373.

²⁴ Sashikumar N., Mohankumar M.S., Sridharan K. 2003. Modelling an Intermittent Water Supply. ASCE, World Water Congress.

²⁵ Fontanazza C.M., Freni G., La Loggia G. 2007. Analysis of intermittent supply systems in water scarcity conditions and evaluation of the resource distribution equity indices, p. 635–644. In WIT Press; Vairavamoorthy K., Gorantiwar S., Mohan S. 2007. Intermittent Water Supply under Water Scarcity Situations.

²⁶ Besner M-C., Broséus R., Lavoie J., Giovanni G.D., Payment P., Prévost M. 2010. Pressure Monitoring and Characterization of External Sources of Contamination at the Site of the Payment Drinking Water Epidemiological Studies. *Environ. Sci. Technol.* 44:269–277; Gadgil A. 1998. Drinking Water in Developing Countries. *Annual Review of Energy and the Environment* 23:253–286; Lee E.J., Schwab K.J. 2005. Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries.

²⁷ Coelho S.T., James S., Sunna N., Abu Jaish A., Chatila J. 2003. Controlling water quality in intermittent supply systems. *Water Supply* 3:119–125.

²⁸ *Ibid.*; Lee y Schwab. Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries.

Estudios en la India,²⁹ Palestina³⁰ y Líbano³¹ han encontrado evidencias de un deterioro de la calidad del agua en la red de distribución o durante el almacenamiento domiciliario en sistemas intermitentes; aunque, algunos de estos estudios se basaron en una cantidad limitada de muestras y/o sólo mostraron un incremento en la concentración de las bacterias de conteo de placa heterotrófica (HPC), las cuales no necesariamente representan un riesgo para la salud. En Mérida, México, un estudio encontró que 95% de las 383 muestras tomadas en el agua entrante a los domicilios cumplió con las normas para la calidad bacteriológica; pero sólo 74% de las muestras de los grifos domiciliarios dentro de las mismas residencias cumplió con las normas.³² Esta diferencia la atribuyeron al deterioro de la calidad del agua en los tanques de almacenamiento domiciliarios. El suministro intermitente ha sido vinculado con un brote de fiebre tifoidea en Tayikistán,³³ un brote de fiebre paratifoidea en la India,³⁴ y una incidencia de diarrea en una ciudad de Uzbekistán.³⁵

En otro componente de la investigación en Hubli-Dharwad, la India se enfocó en los efectos del suministro intermitente en la calidad del agua. Se encontró que las muestras de las áreas intermitentes de la red estaban más frecuentemente contaminadas con bacterias que indican una contaminación fecal (coliformes totales y *E. coli*), en comparación con las muestras de las partes de la red donde se habían reemplazado las tuberías de distribución y se había implementado un suministro continuo.³⁶ En las zonas intermitentes se encontró una mayor contaminación en el agua de los grifos domiciliarios que en el agua de los tanques de reserva aguas arriba, con una mayor incidencia de contaminación durante la época lluviosa. En las zonas intermitentes había mayor contaminación durante la primera descarga cuando el suministro empezó y durante periodos de presión baja.³⁷

²⁹ Kelkar P.S., Talkhande A.V., Joshi M.W., Andey S.P. 2001. Water quality assessment in distribution system under intermittent and continuous modes of water supply. *Journal of Indian Water Works Association* 39–43; Elala D., Labhasetwar P., Tyrrel S.F. 2011. Deterioration in water quality from supply chain to household and appropriate storage in the context of intermittent water supplies. *Water Science & Technology: Water Supply* 11:400.

³⁰ Coelho S.T., James S., Sunna N., Abu Jaish A., Chatila J. 2003. Controlling water quality in intermittent supply systems. *Water Supply* 3:119–125.

³¹ Tokajian S., Hashwa F. 2003. Water quality problems associated with intermittent water supply. *Water Science and Technology* 47:229–234.

³² Flores-Abuxapqui J.J., de J. Suárez-Hoil G., Puc-Franco M.A., Heredia Navarrete M.R., de la L. Vivas-Rosel M, Franco-Monsreal J. 1995. Calidad bacteriológica del agua potable en la ciudad de Mérida, Yucatán. *Revista Biomédica* 6:127–134.

³³ Mermin J.H., Villar R., Carpenter J., Roberts L., Samariddin A., Gasanova L., Lomakina S., Bopp C., Hutwagner L., Mead P., Ross B., Mintz E.D. 1999. A Massive Epidemic of Multidrug - Resistant Typhoid Fever in Tajikistan Associated with Consumption of Municipal Water. *The Journal of Infectious Diseases* 179:1416–1422.

³⁴ Kapil, A., S. Sood, V.P. Reddaish, B. Das, and P. Seth. 1997. Letter to the Editor. *Emerging Infectious Diseases* 3, no. 3.

³⁵ Semenza J.C., Roberts L., Henderson A., Bogan J., Rubin C.H. 1998. Water Distribution System and Diarrheal Disease Transmission: A Case Study in Uzbekistan. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 59:941–946.

³⁶ Kumpel E., Nelson K.L. 2013. Comparing microbial water quality in an intermittent and continuous piped water supply. *Water Research* 47:5176–5188.

³⁷ Kumpel E., Nelson K.L. 2014. Mechanisms Affecting Water Quality in an Intermittent Piped Water Supply. *Environmental Science & Technology* 48:2766–2775.

2.2.4. Incidencia sobre roturas y fugas en las tuberías

Se ha propuesto que las presiones transitorias (periodos cortos de presión alta o baja) bajo un suministro intermitente causan un estrés adicional en las tuberías de distribución, produciendo mayores tasas de roturas y fugas.³⁸ Los golpes de ariete, a causa del arranque o apagado de las estaciones de bombeo o la operación de válvulas, pueden producir presiones excesivamente altas o presiones negativas que rompen las tuberías.³⁹ Las bolsas de aire que se desarrollan en las tuberías cuando no hay suministro también pueden provocar presiones extremas cuando éste regresa.⁴⁰ Aun si el suministro intermitente no produce presiones extremas, la oscilación entre las altas y bajas presiones podría traer como resultado un fallo de las tuberías a largo plazo, por fatiga.⁴¹ En un estudio en Chipre, en donde se tuvo que implementar un suministro intermitente temporalmente en dos redes de distribución urbana por dos años, la tasa de roturas se incrementó en ambas redes bajo el suministro intermitente;⁴² y en una de esas redes, la tasa de pérdidas de agua fue mayor después de regresar al suministro continuo comparado con la tasa anterior a la implementación del suministro intermitente.⁴³ Este deterioro de la infraestructura podría explicar la observación⁴⁴ de que las redes de distribución intermitentes suelen volverse más intermitentes con el tiempo.

Algunos estudios han monitoreado las redes de distribución continuas para buscar presiones transitorias, principalmente para detectar presiones transitorias bajas y negativas que pudieran causar la intrusión de contaminantes;⁴⁵ pero se encuentran muy pocos datos publicados de presiones transitorias para las redes intermitentes. En el estudio en Hubli-Dharwad, se implementó un monitoreo de presión de alta frecuencia durante eventos de la primera descarga y se detectaron presiones bajas y negativas.⁴⁶ No se detectaron presiones transitorias a causa de la operación de válvulas, pero durante un evento de primera descarga se detectaron presiones transitorias por la expulsión de aire. Las áreas intermitentes que se estudiaron generalmente tenían presiones bajas

³⁸ Charalambous B. 2011. The hidden costs of resorting to intermittent supplies. *Water21*, IWA.

Lee E.J., Schwab K.J. 2005. Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries. *Journal of Water and Health* 3:109–127.

³⁹ Boulous P.F., Karney B.W., Wood D.J., Lingireddy S. 2005. Hydraulic Transient Guidelines for Protecting Water Distribution Systems. *Journal AWWA* 97:111–124.

⁴⁰ Batish R. 2003. A New Approach to the Design of Intermittent Water Supply Networks. ASCE, World Water Congress.

⁴¹ Williams S.C. 2011. Approaches to Fatigue Design in Thermoplastic Pipe. *Pipelines 2011: A Sound Conduit for Sharing Solutions*, ASCE.

⁴² Christodoulou S., Agathokleous A. 2012. A study on the effects of intermittent water supply on the vulnerability of urban water distribution networks. *Water Science & Technology: Water Supply* 12:523.

⁴³ Charalambous. The hidden costs of resorting to intermittent supplies.

⁴⁴ Yepes G., Ringskog K., Sarkar S. 2001. The High Cost of Intermittent Water Supplies. *Journal of Indian Water Works Association* 33.

⁴⁵ Gullick R., LeChevallier M., Case J., Wood D.J., Funk J.E., Friedman M.J. 2005. Application of pressure monitoring and modelling to detect and minimize low pressure events in distribution systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA* 54:065–081; Besner M.-C., Broséus R., Lavoie J., Giovanni G.D., Payment P., Prévost M. 2010. Pressure Monitoring and Characterization of External Sources of Contamination at the Site of the Payment Drinking Water Epidemiological Studies.

⁴⁶ Kumpel E., Nelson K.L. 2014. Mechanisms Affecting Water Quality in an Intermittent Piped Water Supply. *Environmental Science & Technology* 48:2766–2775.

y, cuando había suministro, muchos usuarios tenían sus grifos abiertos para captar agua, lo cual podría haber reducido la magnitud de las transitorias.⁴⁷

2.3. Contribución de este proyecto

A pesar de la alta incidencia del suministro intermitente en el mundo, de la variedad de formas que toma y de las preocupaciones sobre sus efectos en la calidad del agua y en la vida útil de las tuberías de distribución, muy pocos estudios han caracterizado las condiciones hidráulicas y de calidad del agua en las redes de distribución intermitente. En este proyecto monitoreamos las condiciones en cuatro zonas de la red de Arraiján, cada una con condiciones de suministro diferentes, con el fin de entender mejor las relaciones entre el suministro intermitente, la calidad de agua y la incidencia de roturas. Además de ser un estudio de caso, el proyecto también fue una oportunidad para implementar los métodos de monitoreo continuo de presión, caudal y calidad del agua, y evaluar la utilidad potencial de estos métodos para las EPS que operan las redes intermitentes.

3. Descripción del área de estudio: Arraiján, Panamá

Arraiján es un área periurbana ubicada directamente al oeste de la ciudad de Panamá y al este del distrito de La Chorrera. La población de Arraiján ha crecido rápidamente durante las últimas décadas, de 62 mil habitantes en 1990 a un estimado de 263 mil en 2014⁴⁸. Una parte de este crecimiento ha sido en forma de urbanizaciones planificadas y otra parte mediante el desarrollo informal sin legalización y planificación. La mayor parte del desarrollo y de la demanda de agua potable en Arraiján es residencial. En 2014, 96.4% de los clientes registrados del IDAAN eran residenciales, representando 79.6% del consumo facturado.⁴⁹

3.1. Delimitación del área de estudio

Este proyecto se enfocó en la red de agua potable de Arraiján, la cual suministra a la gran mayoría de los residentes del distrito de Arraiján. Aunque las redes de agua potable de Arraiján y La Chorrera están interconectadas por una tubería de 18” (18 pulgadas), y la misma planta potabilizadora Mendoza abastece a la mayor parte de La Chorrera y a una parte de Arraiján, institucionalmente el IDAAN maneja las dos redes separadas, Arraiján por la oficina regional en Arraiján y La Chorrera por la regional de Panamá Oeste en La Chorrera. Arraiján y la ciudad de Panamá están separadas por el canal de Panamá y no hay una interconexión entre sus redes de agua, pero ambas redes reciben parte de su agua de la misma planta potabilizadora Miraflores. De aquí en adelante, en este informe, cuando se mencione “la red del IDAAN” o “la red de Arraiján” se refiere a la red de agua potable manejada por la regional de Arraiján que abastece al Distrito de Arraiján. El resto de esta sección describe la red de Arraiján (sin incluir La Chorrera y la Ciudad de Panamá), y la Sección 4 describe los sectores específicos de la red de Arraiján que fueron el

⁴⁷ Jung D.S., Boulos P.F., Wood D.J. 2009. Effect of pressure-sensitive demand on surge analysis. Journal AWWA 101.

⁴⁸ Instituto 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.” “Cuadro 44: Estimación y proyección de la población del distrito de Arraiján, por corregimiento, según sexo y edad: Años 2010-20.”

⁴⁹ IDAAN. Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014.

enfoque de este estudio.

3.2. El sistema de agua potable de Arraiján

La gran mayoría de los residentes de Arraiján se abastece de agua potable una través de la red operada por el IDAAN. La red, a su vez, se abastece de tres plantas potabilizadoras que extraen el agua del canal o de la cuenca del canal de Panamá. La planta potabilizadora Miraflores, administrada por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), extrae agua del canal de Panamá y abastece la parte oriental de Arraiján y parte de la ciudad de Panamá. La planta potabilizadora Laguna Alta, del consorcio privado Aguas de Panamá S.A., extrae agua del lago Gatún y abastece la parte central de Arraiján. La planta Mendoza, también de la ACP, extrae agua del lago Gatún y abastece el occidente de Arraiján y la mayor parte de La Chorrera. Aparte de la producción de ocho pequeños pozos del IDAAN que proveen sólo 0.35% del agua que ingresa a la red de Arraiján,⁵⁰ el IDAAN compra toda el agua de Arraiján en bloque a los operadores de las tres plantas.

La red de distribución de agua de Arraiján es bastante compleja debido a su gran extensión, su abastecimiento por tres plantas potabilizadoras diferentes y su compleja topografía, particularmente en los áreas donde este estudio se enfocó. Un censo catastral de 2010 contabilizó 504 km de tubería en la red de Arraiján; de éstos, 431 km eran de PVC, de 10” o menos de diámetro, y 73 km de hierro dúctil, de 12” o más de diámetro.⁵¹ El personal del IDAAN reporta que también hay una pequeña cantidad de tuberías de hierro fundido y algunas tuberías viejas de asbesto-cemento. Además, existen 27 estaciones de bombeo en la red con capacidades entre 2 y 300 HP. Hay 39 tanques de almacenamiento con volúmenes entre 10,000 y 1,500,000 galones, alcanzando un volumen total de 7,215,000 galones; pero tres de estos tanques, con un volumen total de 3,250,000 galones, están fuera de servicio.⁵² En 2014, el volumen de almacenamiento útil de 3,965,000 galones representó sólo 10% de la producción diaria de 40.6 MGD (millones de galones diarios), cantidad insuficiente para abastecer las 8 horas de consumo medio que debe suministrar, según las normas del IDAAN. Cada una de las tres plantas potabilizadoras también tiene un tanque de reserva con una capacidad de un millón de galones, pero solo aproximadamente 1,500,000 galones de esta capacidad está disponible para Arraiján, porque en los casos de las plantas de Miraflores y Mendoza esos tanques de reserva también abastecen a algunas partes de las redes de la ciudad de Panamá y La Chorrera.⁵³

⁵⁰ IDAAN. Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014.

⁵¹ Louis Berger Group. 2010. Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá.

⁵² Los datos sobre almacenamiento son de: Louis Berger Group. 2010. Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá. Anexo I. Según personal operativo del IDAAN, de los tanques que están fuera de servicio uno de un millón de galones en Burunga fue ubicado en un lugar sin suficiente altura para abastecer a la red, otro de 750,000 galones en Cocolí ha estado fuera de servicio desde que se cambió la configuración del bombeo de agua desde Miraflores hacía Arraiján, y el tercero de 1.5 millones de galones en Howard ahora es manejado por Panamá Pacífico y tal vez ha sido parcialmente rehabilitado desde que el estudio de Louis Berger Group terminó. En el estudio de Louis Berger Group se propuso la rehabilitación de los tanques en Howard y Cocolí para reducir el déficit de almacenamiento en esa zona.

⁵³ Para estimar la fracción del volumen disponible para Arraiján, se dividió la parte de la producción de la planta que abastece a Arraiján entre la producción total de la planta.

Como parte del proyecto “Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá” en 2010, la red de Arraiján se dividió en ocho sectores, con 15 estaciones de monitoreo de presión y caudal colocadas en los puntos en donde cada sector se conecta a la red.⁵⁴ Una estación de monitoreo es operada por la ACP, otra por Aguas de Panamá y las 13 restantes por el IDAAN; 10 de ellas fueron instaladas como parte de dicho proyecto. Los equipos de monitoreo instalados por el proyecto contaban con capacidad para subir los datos a internet en tiempo real y almacenar los datos para bajarlos manualmente. Al terminar el proyecto en 2010, todos los equipos de medición estaban funcionando y se calcularon los balances de agua para los diferentes sectores; sin embargo, actualmente solo algunos de los equipos de medición están funcionando y los equipos de telemetría instalados por el proyecto no están funcionando. Por eso, no se ha podido actualizar los balances de agua para los ocho sectores. Más recientemente se instalaron equipos nuevos de telemetría en cinco de las estaciones de monitoreo y ellos actualmente están funcionando.⁵⁵

3.3. Producción, costos, continuidad de servicio y facturación

El área de cobertura de la red de Arraiján del IDAAN coincide aproximadamente con el distrito de Arraiján. La producción media de agua potable en 2014 para la red de Arraiján fue de 40.6 MGD: 10.8 MGD de la Planta Miraflores, 20.5 MGD de la Planta Laguna Alta y 9.3 MGD de la Planta Mendoza.⁵⁶ Esta producción dividida entre la población de Arraiján beneficiada por el IDAAN⁵⁷ representa una producción diaria de 155 galones por persona. De estos 155 galones, sólo un promedio de 73 fueron facturados, representando una tasa de agua no facturada de 53%, la cual incluye pérdidas físicas y comerciales (Tabla 1).⁵⁸

La Tabla 2 muestra que la producción diaria por cuenta y el consumo diario por habitante son altos en Arraiján, comparados con otras entidades prestadoras de servicios (EPS) que participaron en un informe de benchmarking en Latinoamérica. La producción por cuenta en Arraiján es más alta que la de todas las 26 empresas incluidas en el informe de benchmarking, siendo más de 150% superior al promedio.

En 2014, el IDAAN gastó aproximadamente B/.18.1 millones en la compra del agua que se suministra en Arraiján,⁵⁹ y facturó un monto de solo B/.6.6 millones⁶⁰ (Tabla 1). Esta gran diferencia se debe a la alta tasa de agua no facturada y al hecho de que la tarifa promedio de B/.0.95 por millar de galones (calculada dividiendo el monto facturado entre el volumen facturado) es

⁵⁴ Louis Berger Group. 2010. Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá.

⁵⁵ Comunicación personal con el personal encargado de la macromedición en el Departamento de Distribución y Control de Pérdidas del IDAAN.

⁵⁶ Datos del Departamento de Distribución y Control de Pérdidas, Sección de Macromedición.

⁵⁷ La población beneficiada en 2014 fue de 262,517 personas. IDAAN. Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014.

⁵⁸ El volumen facturado proviene de: IDAAN. Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014. El mismo boletín estima una tasa de agua no contabilizada de 42.2%, pero al parecer no están tomando en cuenta los 9.3 MGD que Arraiján recibe de la Planta Mendoza.

⁵⁹ Esta cifra se basa en los siguientes precios por 1,000 galones: B/.1.72 de Laguna Alta (precio a partir del 11 de nov. del 2014), B/.0.69 de Miraflores (precio actual), y B/.0.97 de Mendoza (precio en el 2011). Fuente de precios: Comunicación personal con la Gerencia Regional del IDAAN en Arraiján.

⁶⁰ IDAAN. Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014.

menor que el precio promedio de compra de B/.1.22 por millar de galones. El costo de compra no incluye los costos de distribución, mantenimiento, personal e inversión. En 2014, el IDAAN gastó B/.1.17 millones en 5.54 millones de kWh para bombeo de agua potable dentro de la red de Arraiján y, aproximadamente, B/.1.5 millones para pago a los contratistas que distribuyen el agua, en diez carros cisterna durante tiempo completo, a clientes que no reciben agua por tubería.⁶¹

Tabla 1. Comparación entre agua comprada y agua facturada. Fuentes de información: IDAAN. Boletín Estadístico No. 28, 2012-2014 (facturación); Datos del Departamento de Distribución y Control de Pérdidas, Sección de Macromedición (volumen de agua comprada); Datos de la agencia comercial del IDAAN en Arraiján (recaudación); y Comunicación personal con la Gerencia Regional del IDAAN en Arraiján (valor de agua comprada).

	Volumen total (MGD)	Volumen per cápita diaria (galones por persona-día)	Valor (millones de B/.)	Valor per cápita (B/. por persona año)
Agua comprada	40.6	154	B/. 18.1	B./ 68.93
Agua facturada	19.0	73	B/. 6.6	B./ 25.23
% Facturada	47%		37.0%	
Recaudación			B/. 5.5	B./ 21.10

A pesar del alto nivel de producción de agua potable, algunos usuarios del IDAAN en Arraiján tienen un suministro deficiente. Actualmente, 6,420 usuarios (13% del número de usuarios registrados en el 2014) reciben un descuento mensual en su factura de agua por la deficiencia del suministro.⁶² Aunque este no es una porción grande de los usuarios del IDAAN, a veces, existe un mayor número con suministro deficiente. Por ejemplo, durante el año en que se realizó este proyecto (agosto de 2014 a julio de 2015) se presentaron aproximadamente 13 ocasiones (ocho imprevistas y cinco programadas) en que los usuarios de una parte significativa de Arraiján estuvieron sin suministro a la vez, debido a algún daño, paro de una planta potabilizadora u otro problema operativo.⁶³ Dos de estos eventos fueron cuando el suministro de una de las tres potabilizadoras se suspendió por más de 24 horas.⁶⁴ Muchas veces, hay áreas que tienen un suministro deficiente crónico causado por una de las siguientes dos razones: 1) una capacidad de distribución local (diámetro de tubería o capacidad de bombeo) insuficiente para abastecer la demanda de agua en el área; o, 2) un abastecimiento por partes de la red que frecuentemente pierden presión cuando la capacidad de la red entera está superada por la alta demanda (por ejemplo, un domingo cuando muchos usuarios están en casa) o por una rotura. Además de los usuarios con suministro deficiente, algunos usuarios no reciben agua por tubería y se abastecen de camiones cisternas contratados por el IDAAN. Un catastro en el 2010 encontró que 443 usuarios

⁶¹ Comunicación personal con la Gerencia Regional del IDAAN en Arraiján.

⁶² Esta cifra es según catastro del IDAAN. Un catastro de usuarios como parte del proyecto de fortalecimiento institucional en el 2010 (Louis Berger Group. 2010. Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá.) encontró que 443 usuarios (0.8%) se abastecían por carro cisterna y sólo 1,285 (2.6% de los que tenían suministro) recibían un servicio intermitente, pero el informe no explica qué criterio se usó para definir cuales usuarios tenían un servicio intermitente.

⁶³ Comunicación personal con la Gerencia Regional del IDAAN en Arraiján.

⁶⁴ Según registro llevado por la Gerencia Regional del IDAAN en Arraiján.

en Arraiján recibían agua por camión cisterna,⁶⁵ pero el número actual probablemente es mayor, dado que diez camiones distribuyen agua tiempo completo.

*Tabla 2. Comparación entre el IDAAN en Arraiján, el IDAAN a nivel nacional y entidades prestadoras de servicios (EPS) que participaron en el Informe Anual – 2013 del Grupo Regional de Trabajo de Benchmarking de la Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de Las Américas (ADERASA). Notas: *El lugar que Arraiján ocuparía si las otras entidades y el IDAAN en Arraiján fueran ordenadas de manera descendente, empezando con la entidad con el parámetro de mayor valor. †Aquí se cuenta sólo el agua facturada o comercializada (la que se factura a los clientes). **Aquí se cuenta la cantidad de medidores leídos, no la cantidad de instalados. ††Esta tasa se basa en el análisis de la Sección 8, con la excepción de que aquí solo se incluye el año 2014 y se incluyen las tuberías de diámetro mayor de 12”. Como en la Sección 8, algunas partes de Arraiján se excluyen por falta de datos.*

Indicador	Arraiján 2014	IDAAN Nacional 2012	Promedio ADERASA Benchmarking 2012	Lugar de Arraiján en ADERASA Benchmarking*
Producción diaria por cuenta (galones)	829	671	322	1 de 27
Consumo diario por habitante (galones) [†]	73	97	46	5 de 26
Cobertura de micromedición	**58%	37%	70%	19 de 27
Roturas en la red de agua potable (por km de tubería por año)	††1.46	3.82	1.37	5 de 13

3.4. Desafíos operativos

Aun cuando la red de Arraiján es una red de distribución bastante compleja, la regional del IDAAN la opera con poca información sobre el estado de la misma y con pocos recursos. Algunas de las 27 estaciones de bombeo se dañan y se paran frecuentemente. Aparte de los equipos de monitoreo instalados para este proyecto, sólo se puede monitorear una de las estaciones por telemetría; para revisar las otras hay que hacer un recorrido diario por vehículo. Como consecuencia del exiguo almacenamiento de agua en la red, del déficit del suministro, y de los problemas imprevistos mencionados en la Sección 3.2, existen ocasiones en que grandes tramos de la red pierden su abastecimiento. Si el problema persiste, el personal del IDAAN tiene que operar las válvulas para mandar agua, por turno, a los diferentes sectores de la red.

La red de Arraiján también presenta frecuentes roturas. Durante 2014, las cuadrillas de operación del IDAAN repararon 604 roturas en las tuberías de 2” o más de diámetro (1.46 roturas por km de tubería por año).⁶⁶ Aunque esta tasa pone al IDAAN en Arraiján cerca del promedio de las EPS que participaron en el benchmarking de ADERASA (Tabla 2), es mucho más alta que la tasa promedio de 0.068 roturas por km al año de un estudio de 188 EPS en Estados Unidos y Canadá.⁶⁷

⁶⁵ Louis Berger Group. 2010. Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá.

⁶⁶ Esta tasa no toma en cuenta las roturas de diámetro pequeño, las roturas de conexiones domiciliarias, ni algunas áreas de Arraiján donde no había datos disponibles para la longitud de las tuberías o el registro de reparaciones.

⁶⁷ Folkman, Steven. 2012. “Water main break rates in the USA and Canada: A comprehensive study.” Utah State University Buried Structures Laboratory. April.

Muchas veces, la reparación de las roturas se complica por la falta de información sobre la configuración de la red de distribución y por la falta de válvulas de control. La cuadrilla puede demorar buscando cómo despresurizar un sector para hacer una reparación y, a veces, por tener insuficientes válvulas de control hay que suspender el servicio de agua de un gran sector para quitar el agua cercana a la rotura.

La falta de información sobre el estado de la red dificulta su operación. La estación más grande de bombeo y cinco de las 13 estaciones de macromedición en Arraiján cuentan con telemetría; sin embargo, el estado de las otras 26 estaciones de bombeo sólo se puede revisar con visitas de campo. Como se mencionó en la Sección 3.1, otros equipos de medición y telemetría se instalaron en 2010, pero por falta de personal y recursos en la división del Departamento de Distribución y Control de Pérdidas encargada del mantenimiento de los equipos, no se han mantenido. Por ejemplo, la división actualmente no cuenta con un vehículo servible para visitar a las estaciones de monitoreo.⁶⁸ El Tanque del Millón, el más grande de la red, contaba con un medidor de nivel con los datos accesibles por internet; pero el medidor estuvo fuera de servicio por un periodo de aproximadamente un año cuando se dañó, después de 3 años de haber sido instalado. La regional cuenta con dos medidores portátiles de presión con *dataloggers* para estudios de presión; pero durante varios meses, por daño y/o robo, no se pudo contar con estos equipos. Para estudios hidráulicos más complejos, la regional pide apoyo al departamento de Distribución y Control de Pérdidas en la oficina central del IDAAN.

El personal operativo lleva los registros de operaciones de válvulas, operaciones y reparaciones electromecánicas y de otros eventos operativos, y se llena una ficha cada vez que se repara una tubería. Asimismo, se hacen algunos resúmenes de la información, por ejemplo, el número de reparaciones por diámetro al mes. Esta información también podría ser útil para realizar un análisis más detallado, por ejemplo, para entender en qué zonas hay más roturas por kilómetro de tubería y para poder investigar la causa de la alta tasa de roturas. Para llevar a cabo ese análisis sería necesario contar con personal dedicado a dicho trabajo. Actualmente, el personal gerencial y operativo no tiene la capacidad para hacerlo; la gran parte de su tiempo se consume con la reparación de tuberías y la resolución de los problemas de suministro.

3.5. Monitoreo de la calidad del agua

Debido a que la regional de Arraiján no cuenta con un laboratorio de calidad de agua, personal del laboratorio del IDAAN de Panamá Oeste, en La Chorrera, realiza el monitoreo de la calidad del agua en la red de distribución de Arraiján. Se muestrean diferentes puntos localizados en la red de distribución, siguiendo las normas del ASEP (Autoridad de Servicios Públicos) para el número de muestras y parámetros de monitoreo. La mayoría de los puntos de muestreo son grifos de clientes comerciales y gubernamentales. El IDAAN también ha empezado a tomar muestras rutinarias de los grifos de monitoreo instalados para este proyecto. Las entidades que operan las plantas potabilizadoras se encargan del monitoreo de calidad del agua en la salida de las plantas. Antes de iniciar este estudio, muchos de las áreas con el suministro más intermitente no fueron incluidos en los puntos de muestreo del IDAAN, tal vez por falta de puntos de muestreo convenientes en estos

⁶⁸ Comunicación personal con personal encargado de la división de macromedición en el Departamento de Distribución y Control de Pérdidas del IDAAN.

lugares o por el hecho de que esots lugares no siempre tienen agua para la toma de una muestra. Ahora, con la incorporación de los grifos instalados en este proyecto, el IDAAN está haciendo más monitoreo de sectores con suministro deficiente.

3.6. Mejoras en marcha y planeadas

Hay muchas mejoras ya en marcha o que están planeadas para mejorar las operaciones del IDAAN en Arraiján. El IDAAN está próximo a inaugurar algunos proyectos para mejorar la capacidad de la red para conducir el agua que va desde la planta Laguna Alta hasta Arraiján Cabecera y Burunga. El aumento de la capacidad de conducción desde esa planta liberaría capacidad de la planta Miraflores para abastecer a sectores en la parte este de Arraiján como Veracruz y Howard. También se han construido nuevos tanques de almacenamiento en Burunga para mejorar la capacidad de distribución en algunas de sus partes, donde actualmente el suministro es deficiente. Para que estas mejoras funcionen, es necesario controlar la demanda y las pérdidas de agua para que haya una mayor cantidad de agua que bombear desde Laguna Alta hasta Arraiján Cabecera.⁶⁹

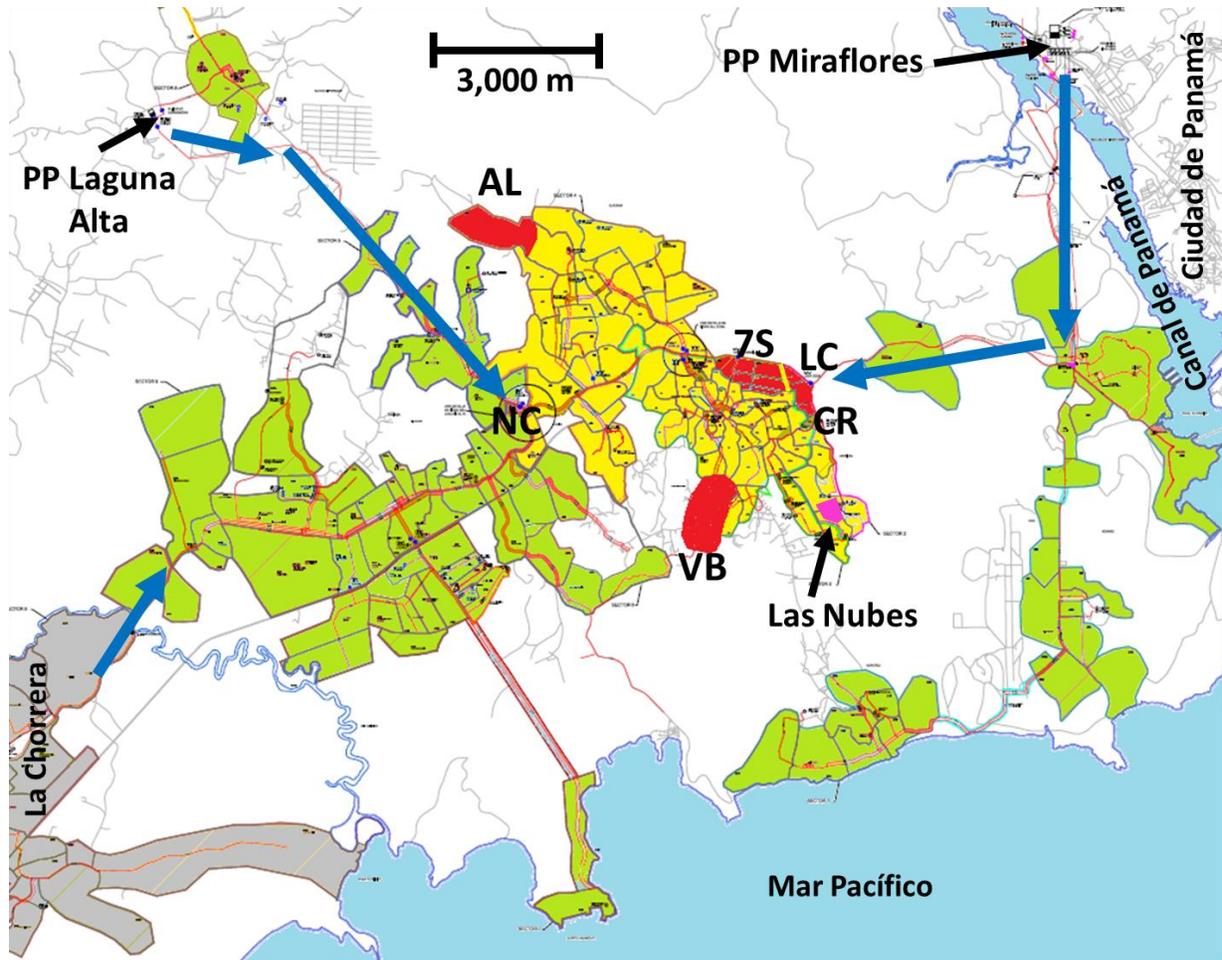
También se han tomado medidas para reducir la tasa de agua no contabilizada en Arraiján, instalando 14,000 nuevos medidores y 26 válvulas reguladoras de presión para reducir la presión excesiva en algunas zonas.⁷⁰ De 2011 a 2014, el número de clientes con medidor leído aumentó de 5,223 a 28,607 y el número de clientes sin medidor disminuyó de 18,685 a 10,196. A pesar de estos logros, la tasa de 53% de agua no facturada para 2014 muestra que hay mucho trabajo por hacer. La regional del IDAAN en Arraiján también está planeando mejoras en su capacidad técnica y operativa, contratando a más personal operativo y planeando un sistema de telemetría.⁷¹

⁶⁹ Actualmente, aun con la estación de bombeo actual de menor capacidad, hay falta de presión en la línea de Laguna Alta que abastece a la estación de bombeo. Comunicación personal con la Gerencia Regional del IDAAN en Arraiján.

⁷⁰ Comunicación personal con la Gerencia Regional del IDAAN en Arraiján.

⁷¹ Ibid.

4. Descripción de zonas de estudio



Legenda

-  Ruta de conducción del agua potable desde las plantas potabilizadoras a Arraiján. Agua de la planta Mendoza (fuera del croquis) también entra a Arraiján a través de La Chorrera.
-  Sectores de Arraiján Cabecera, Loma Cova, y Burunga (pertenecen a la red de Arraiján)
-  Otros sectores de la red de Arraiján
-  Zonas de estudio (CR, 7S, AL y VB)
-  Área de cobertura de la red de La Chorrera
-  Las Nubes

LC, NC Puntos de muestreo aguas arriba

Figura 1. Ubicación de las zonas de estudio y puntos de muestreo aguas arriba. Aunque no es una de las cuatro zonas de estudio, también está marcada Las Nubes, un área donde se tomaron muestras de calidad de agua durante eventos de la primera descarga. (Fuente: Modificado de Louis Berger Group. 2010. Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá, Anexo O, “Plano de Macromedidores”).

Para este proyecto de investigación se identificaron cuatro zonas de la red de Arraiján que representan cuatro diferentes situaciones operativas, tres intermitentes y una continua. Las zonas fueron elegidas a partir de entrevistas realizadas al personal operativo del IDAAN, visitas de campo y entrevistas a clientes de cada zona. Éstas se eligieron conforme a los siguientes criterios.

- Con sólo una o dos entradas hidráulicas y sin salida hidráulica, para poder monitorear el caudal y la calidad de toda el agua que entra a la zona.
- Del mayor tamaño posible, aunque manteniendo un régimen de suministro de características similares dentro de cada una.⁷²
- Se espera que las intervenciones en la infraestructura que el IDAAN está haciendo mejorarán el suministro en las zonas intermitentes; aspecto que podría evaluarse en un estudio futuro.

La Figura 1 muestra la ubicación de las cuatro zonas de estudio en Arraiján: El Cristal (CR), 7 de Septiembre (7S), La Alameda (AL) y Vista Bella (VB). También muestra los puntos de monitoreo aguas arriba, en donde se tomaron muestras para verificar la calidad del agua proveniente de las dos plantas potabilizadoras que abastecen a las zonas: Loma Cova (LC, agua proveniente de la planta de Miraflores) y la entrada a Nuevo Chorrillo (NC, agua de la planta de Laguna Alta).

Todas las cuatro zonas están ubicadas en la misma parte de la red de Arraiján, en los sectores contiguos de Loma Cova (CR), Arraiján Cabecera (7S y VB) y Burunga (AL) identificados como sectores 2, 3 y 4 respectivamente en el proyecto “Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la ciudad de Panamá.”⁷³ Estos tres sectores tienen aproximadamente 17,900 conexiones, 34% de las conexiones de Arraiján. Aunque los barrios y barriadas en estos tres sectores varían en términos de desarrollo urbano y suministro de agua, muchos también comparten algunas características comunes que pueden afectar el suministro de agua potable:

- La topografía del área es compleja, creando la necesidad de varias estaciones de bombeo.
- Hay muchos asentamientos informales, desarrollo no planificado, y desarrollo antiguo (con más 30 años), cuales contribuyen a la complejidad de la red de agua potable y muchas veces la falta de datos sobre su configuración.
- La red en esta área depende de la planta Laguna Alta y la planta Miraflores, y no recibe agua de la planta Mendoza.

⁷² Al crear zonas para macromedición y control de pérdidas, normalmente, se recomiendan zonas que tengan entre 500 y 5,000 conexiones para que sean zonas lo suficientemente pequeñas para todavía poder detectar roturas y cambios en el caudal; pero lo suficientemente grandes para evitar un gasto excesivo al crear muchas zonas pequeñas (Savić, D., and G. Ferrari. 2014. Design and Performance of District Metering Areas in Water Distribution Systems. *Procedia Engineering* 89: 1136–1143). Para el componente de este proyecto sobre la calidad del agua, zonas más grandes también habrían incluido más variabilidad de fuentes de contaminación y condición de tuberías. Sin embargo, para mantener un solo tipo de suministro dentro de cada zona, sólo fue posible encontrar estas zonas más pequeñas.

⁷³ Louis Berger Group. 2010.

Más adelante, se presentan unas imágenes de satélite con esquemas de los servicios de cada zona, con sus límites, las tuberías de agua potable, y los puntos de muestreo. El caudal y la presión se monitorearon continuamente en los puntos de entrada (“ENT”). Adicionalmente, en los puntos de aguas abajo (“AA”), se monitoreó la presión en forma continua. La calidad del agua (cloro libre residual y turbiedad) se monitoreó continuamente por periodos de una a cuatro semanas a la vez, rotando los equipos de medición entre las cuatro zonas. Se tomaron muestras puntuales rutinarias y, a veces, muestras de la primera descarga en los puntos “ENT”, “AA” y “GD” (grifo domiciliario). Los puntos de entrada para VB y AL se encuentran fuera de las fronteras de la zona; las tuberías que conducen agua desde los puntos de entrada hasta estas zonas no se conectan a ninguna casa u otra tubería sino hasta llegar a las fronteras de las zonas. El monitoreo de entrada permitió ver la presión, el caudal y la calidad del agua entrante, factores afectados por el comportamiento de la red de distribución aguas arriba de la zona. Con el monitoreo aguas abajo, dentro de las zonas, se pudo monitorear el horario y la presión de suministro en los puntos más aguas abajo de la zona y evaluar si la calidad de agua cambió desde la entrada de la zona.

Cabe notar que la presión y la continuidad del suministro varían geográficamente dentro de cada zona según elevación y distancia de la entrada. Los puntos “AA” fueron seleccionadas para representar un punto alejado de la entrada de la zona, pero las condiciones allí no son representativas de la variedad de condiciones dentro de la zona.

El Cristal (CR): Suministro continuo

- Unidad(es) de análisis hidráulico: A22, A31, y A32⁷⁴.
- Procedencia del agua: Directo de la tubería principal de 24", al lado de la Carretera Interamericana. Esta línea proviene de la planta Miraflores, normalmente toda el agua de CR es de Miraflores.
- Suministro: Continuo.
- Efectos anticipados de proyectos de infraestructura: No se esperan que sean significativos.
- Número de construcciones en el área⁷⁵: 348.

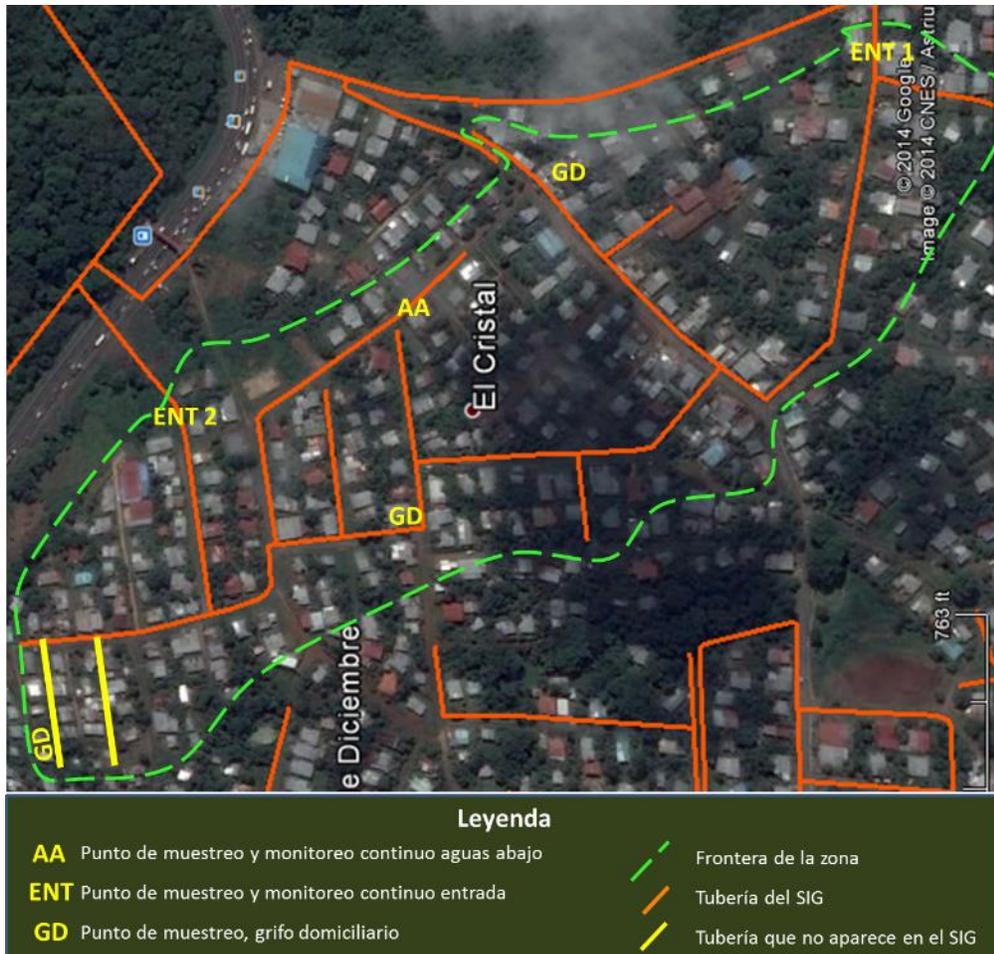


Figura 2. Esquema de la zona CR. (Fuentes para todas las imágenes satélites y los esquemas de las zonas: Google Earth, Base de datos SIG del IDAAN)

⁷⁴ Estas denominaciones corresponden a zonas identificadas en el proyecto de Louis Berger Group. “Fortalecimiento institucional del IDAAN a través de acciones de optimización para la Ciudad de Panamá. 2010”.

⁷⁵ La cifra de construcciones que se usa aquí es un conteo de las construcciones dibujadas en una base de datos SIG, elaborada por la Contraloría de la República. Se puede observar que cada construcción no es necesariamente una casa. Para confirmar este conteo se realizaron censos en campo en AL y CR. En el censo de campo se encontraron 12% menos de construcciones en AL y 9% menos en CR. Esta diferencia podría deberse a que durante el censo de campo no se pudieron ver todas las construcciones desde la calle; o al conteo, usando la base de datos SIG, de construcciones pequeñas, como letrinas o bodegas, que no se contaron durante el censo de campo.

7 de Septiembre (7S): Suministro intermitente controlado por las fluctuaciones en el nivel de un tanque y la demanda de agua potable.

- Unidad(es) de análisis hidráulico: A15, A17, A18a, y A19
- Procedencia del agua: El Tanque del Millón (por gravedad) y una tubería de 6" que proviene de una línea principal cerca del puente de Arraiján. Esta zona normalmente recibe una mezcla de aguas de las plantas Miraflores y Laguna Alta.
- Suministro: Dependiendo de la elevación y el día, el suministro en 7S varía entre continuo e intermitente. El suministro es controlado por el nivel de agua en el Tanque del Millón, el cual cambia dependiendo de las fluctuaciones en la demanda y en la presión en la red principal. Aun cuando no hay agua del Tanque, las partes bajas de la zona reciben suministro de la tubería de 6".
- Efectos anticipados de proyectos de infraestructura: Con una mayor cantidad de agua que llegue al Tanque del Millón, se espera que el suministro se vuelva más continuo.
- Número de construcciones en el área: 650.



Figura 3. Esquema de la zona 7S. Hay algunas diferencias entre la configuración de la red en la base de datos SIG del IDAAN y la configuración de la red, según las investigaciones de campo que se hicieron para averiguar si la zona estaba aislada (Anexo A).

La Alameda (AL): Suministro intermitente controlado por la operación de una válvula.

- Unidad(es) de análisis hidráulico: Parte de A64.
- Procedencia del agua: La Estación de Bombeo Generación 2000 (EB-2000). Esta zona normalmente recibe agua de la planta Laguna Alta.
- Suministro: Normalmente, AL tiene un suministro por tres días y después está sin suministro por otros tres días cuando el IDAAN cierra una válvula de control para poder llenar un tanque que abastece a otro sector. Aun cuando la válvula está abierta, AL puede perder el suministro si la EB-2000 se apaga.
- Efectos anticipados de proyectos de infraestructura: Se espera que los nuevos tanques de almacenamiento en Burunga, uno de ellos elevado, mejorarán el suministro.
- Número de construcciones en el área: 232.
- Nota: Se monitorearon la presión y el caudal de entrada en el punto ENT, directamente aguas abajo de la válvula de control para AL. Como rutinariamente la presión en ENT estaba negativa, se hizo el monitoreo de calidad del agua (muestras puntuales y monitoreo continuo de turbiedad y cloro) en la descarga de EB-2000, donde la presión era positiva.



Figura 4. Esquema de la zona AL. El punto ENT, donde se midieron la presión y caudal de entrada, está ubicada aproximadamente 1 km al sureste, afuera, de la esquina inferior derecha del croquis. EB-2000, donde se hicieron muestras puntuales y el monitoreo continuo de presión, cloro y turbiedad, está ubicada aproximadamente 400 m al sur (aguas arriba) del punto ENT.

Vista Bella (VB): Suministro intermitente controlado por un bombeo intermitente.

- Unidad(es) de análisis hidráulico: A43 y parte de A4.
- Procedencia del agua: VB normalmente recibe una mezcla de agua de Miraflores y Laguna Alta. La mayor parte del agua proviene de la Estación de Bombeo VB (EB-VB) por una tubería de 6” que se conecta con la red local de VB; pero también entra una pequeña cantidad de agua por una tubería de 2” que proviene de la Estación de Bombeo Talamanca. Hay una válvula check en la tubería de 2” que permite que el agua entre a VB pero impide que salga. Inicialmente se pensó que el agua sólo entraba a VB por estas dos entradas. Sin embargo, durante el proyecto, se comprobó que hay otra interconexión, entre VB y otro sector adyacente que se llama El Llano, por la cual entra y sale el agua. Según el personal operativo del IDAAN, el agua no pasaba antes por esta interconexión porque la presión en El Llano era baja y una válvula check prevenía que el agua saliera de VB hacia El Llano. Pero, ahora, por el aumento de la presión en El Llano y el fallo de la válvula check, el agua fluye por la interconexión en ambas direcciones. Como resultado de esta situación imprevista, la zona no está aislada como inicialmente se pensaba y no se pudo cuantificar bien la cantidad del suministro entrante a la zona.
- Suministro: Intermitente según el funcionamiento de EB-VB. Aun cuando la EB-VB está apagada, algunas partes de VB reciben agua a través de la tubería de 2” que proviene de la Estación de Bombeo Talamanca o de la interconexión con El Llano. Pero, a veces, aun con la EB-VB funcionando hay partes más alejadas de VB que no reciben agua.
- Efectos anticipados de proyectos de infraestructura: Con un mejor suministro en la EB-VB se espera que el servicio mejore.
- Número de construcciones en el área: 368

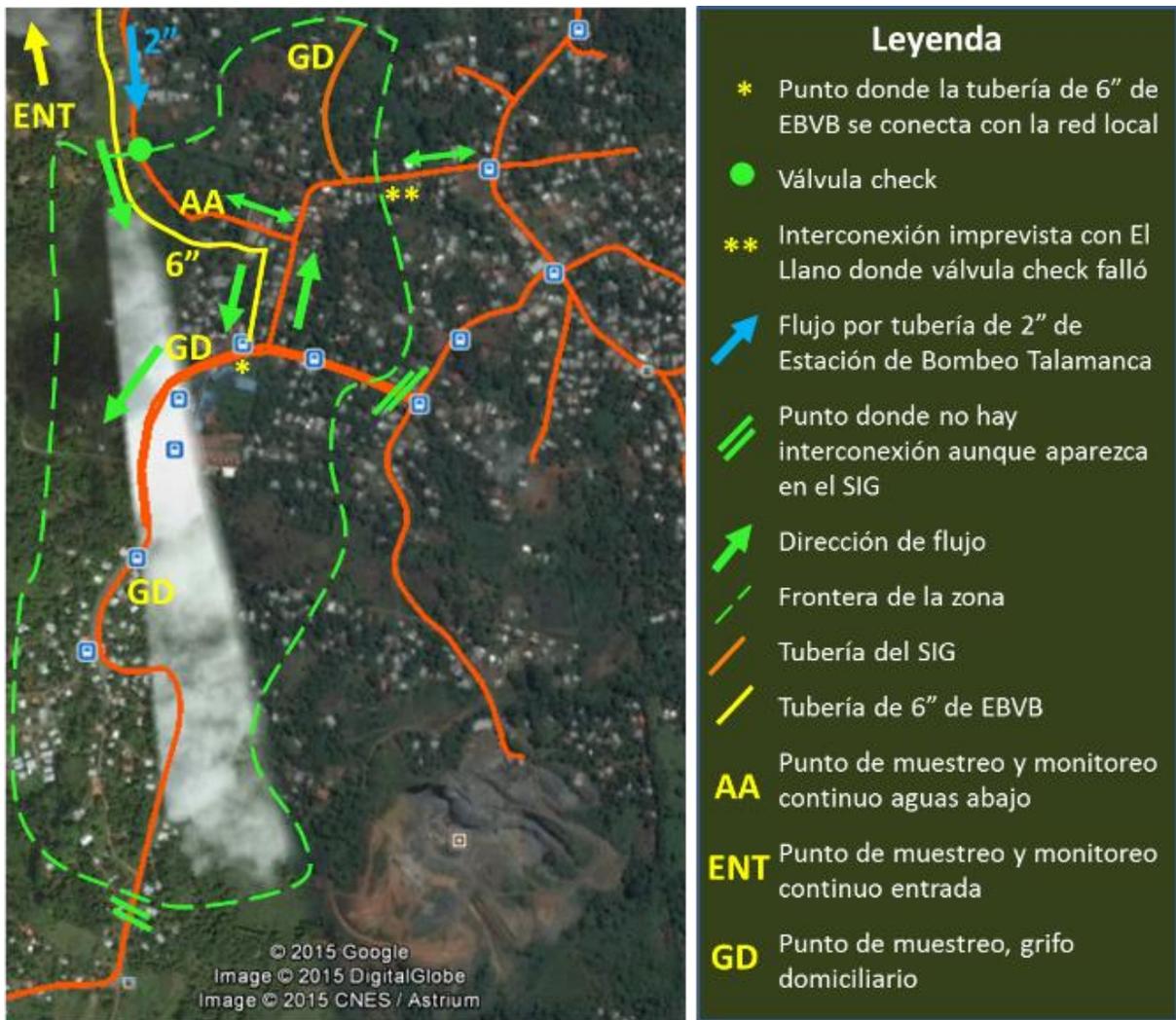


Figura 5. Esquema de la zona VB. El punto de muestreo y monitoreo continuo ENT está ubicado en la descarga de EB-VB, aproximadamente a 2 km al norte de la esquina superior izquierda de este croquis.

5. Monitoreo continuo de presión, caudal y calidad del agua

5.1. Métodos

Para poder monitorear los parámetros hidráulicos y de calidad del agua en las zonas de estudio se instalaron nueve estaciones de monitoreo en la(s) entrada(s) y un punto aguas abajo en cada zona. La Figura 6 muestra una de las estaciones de monitoreo y los sensores. Los equipos registraron datos desde agosto del 2014 hasta agosto del 2015.

5.1.1. Estaciones de monitoreo

Los equipos de monitoreo se instalaron dentro de cajas metálicas colocadas arriba del nivel del suelo. Se abastecieron de energía mediante una batería de 12 voltios cargada por un panel solar situado encima de la caja. Cada estación de monitoreo estaba conectada a la tubería de la red de distribución por medio de un collarín, un tubo de 1/2" de PVC y una manguera de 3/8" de PVC. A través de esta conexión se monitoreó la presión y la calidad del agua. En las estaciones de las entradas, se colocó en la tubería enterrada un caudalímetro de tipo inserción que se conectó al equipo de monitoreo a través de un cable.

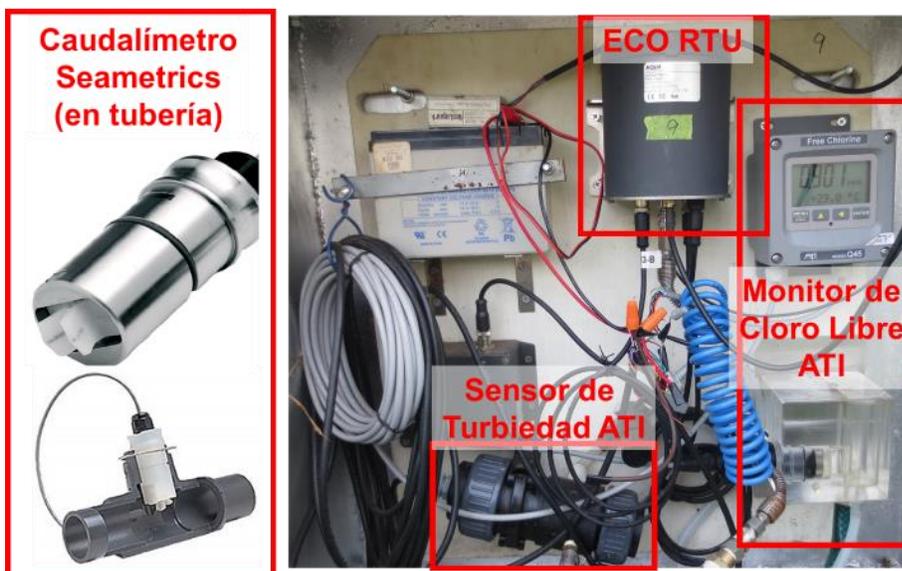


Figura 6. Estación de monitoreo continuo (parte superior) y los sensores (parte inferior).

5.1.2. Sensores y equipos

RTU para medir la presión y procesar las señales de los otros sensores

La presión se monitoreó con un ECO-RTU (unidad de telemetría remota) de AQUAS Inc. El monitor de presión normalmente grababa un dato cada 30 segundos. También tenía la capacidad de grabar datos más seguidos cuando detectaba una presión transitoria. Cuando la presión cambiaba más de 5% durante 1 segundo, el monitor tomaba datos más seguidos (cada 0.1 segundos) por un periodo de 2 minutos. Además de medir la presión, el RTU recibía las señales de los otros sensores, grababa los datos y los mandaba periódicamente a un servidor accesible por internet. El ECO también tenía la capacidad de mandar mensajes de texto al operador cuando la presión u otros parámetros se salían del rango normal programado por el operador (o en este caso, los consultores).

En el punto AL-ENT, la presión fue monitoreada por un monitor de presión Telog LPR-31i. Los datos de ese monitor se bajaban cada semana con una computadora portátil.

Sensores de cloro y turbiedad

En cuatro de las estaciones a la vez, se usaron sensores de cloro libre y turbiedad de Analytical Technology Inc. Los sensores se escogieron por su bajo consumo de energía y porque pueden funcionar con presiones bajas. Se colocó una válvula check arriba de las celdas de flujo de los sensores para que las celdas no se vaciaran cuando la presión de agua bajaba a cero.

Caudalímetros

En la(s) entrada(s) de cada zona se colocaron caudalímetros de inserción, tipo paleta, de Seametrics. Éstos mandaron una señal de pulso eléctrico al RTU.

5.1.3. Rotación y calibración de equipos

Los cuatro juegos de equipos que tenían sensores de calidad del agua se rotaron entre las nueve estaciones para monitorear la(s) entrada(s) y el punto de aguas abajo de una o dos zonas de estudio a la vez. Todos los sensores estaban montados en un panel de triplay, para poderlos desconectar y mover fácilmente.

Los sensores de cloro se calibraron aproximadamente cada dos semanas, y antes y después de moverlos de una estación de monitoreo a otra. No fue necesario calibrar los sensores de turbiedad; pero, al final del estudio, se analizó una solución estándar con los sensores continuos y un turbidímetro portátil, y la diferencia fue menor de 20% para cada uno de los cuatro sensores.

5.1.4. Análisis de datos

Las medidas se grabaron cada 30 segundos durante un año, generando una gran cantidad de datos para analizar. Las fallas en los equipos⁷⁶ o las alteraciones al abrir las plumas de muestreo afectaron las medidas, complicando el análisis. Para cada parámetro (presión, turbiedad y cloro residual), el procedimiento del análisis fue:

1. Eliminar todos los datos afectados por fallas y alteraciones conocidas.

⁷⁶ La fallas realmente no eran por fallas de los mismos sensores sino por falta de energía cuando las baterías se descargaban o por problemas con el flujo de agua por los sensores.

2. Usar un algoritmo de computadora para seleccionar todos los eventos de interés (ej. turbiedad alta o presión baja).
3. Graficar los datos para los eventos identificados para asegurar que eran reales y no el resultado de una alteración o falla que no se había identificado. Para los eventos de turbiedad alta y cloro residual bajo se usó el gráfico de cada evento para categorizarlo según su probable causa.

5.2. Resultados

5.2.1. Patrón (o falta de patrón) del suministro intermitente

Aunque se esperaba que cada zona con suministro intermitente tendría un patrón de interrupciones en el suministro (por ejemplo, tres días con agua y tres días sin agua en AL o varias horas con agua y varias horas sin agua en VB), el monitoreo de presión mostró que el patrón del suministro variaba bastante. Cada día, cada semana y cada mes fue diferente; el suministro variaba según la demanda, las roturas, las bombas dañadas y el estado general de la red de distribución. Esta sección resume los datos de presión tomados en las estaciones de monitoreo aguas abajo (AA) de cada zona. En este análisis, se considera que el área de interés de la zona estaba sin suministro cuando la presión en la estación AA estaba por debajo de 2 psi a nivel del suelo. En el caso de VB, VB-AA recibía agua de otros sectores aun cuando EB-VB está apagada y otras partes de VB estaban sin agua. Por eso, se considera que VB estaba “sin agua” cuando EB-VB estaba parada.

La Tabla 3 muestra un resumen de las estadísticas del suministro de cada zona. AL tuvo el valor más alto de fracción de tiempo sin agua, como se esperaba según el plan operativo de ese sector. Aunque CR tiene un suministro continuo, todavía tuvo 12 periodos sin agua en ese sector, con el más largo que duró 22 horas. Por lo menos, dos de esas interrupciones fueron por la rotura de la línea de conducción de 24" que lleva agua desde la planta Miraflores hasta Arraján. Otras dos interrupciones fueron por los cierres grandes llevados a cabo para hacer mejoraras la red.

Tabla 3. Resumen de estadísticas sobre periodos sin agua. *Aquí se contabiliza el tiempo que EB-VB estaba parada. La presión promedio de VB-AA no se reporta porque no es relevante. **Este es el número de tiempo con o sin agua expresado en días, no es el número de días calendarios con o sin suministro.

Lugar	CR-AA	7S-AA	AL-AA	VB*
Días de datos	350	319	316	349
Días con agua**	347	264	179	302
Días sin agua**	3.2	54.3	137	47
Fracción de tiempo sin agua	0.9%	17%	43%	13%
Presión promedio cuando había agua (psi)	21.9	37.9	35.5	NA
Numero de periodos sin agua	12	123	137	374

La Figura 7 muestra la distribución de la duración de los periodos sin agua para cada zona. Como se esperaba, AL tuvo los periodos de mayor duración sin agua. Según el plan operativo las interrupciones debían durar 3 días; pero, aunque hubo muchas interrupciones, unas fueron más largas y otras más cortas. Se presentaron nueve interrupciones que duraron más de 4 días. Las tres más largas, de 6.4, 6.6 y 8.2 días, estuvieron asociadas con roturas en el tubo que lleva agua a AL. Por lo general, las interrupciones más cortas ocurrieron cuando EB-2000, la estación de bombeo

que manda agua para AL, se detuvo temporalmente o cuando la válvula de control en la entrada de AL estuvo sólo semiabierto⁷⁷ y el suministro se interrumpió durante periodos de alta demanda.

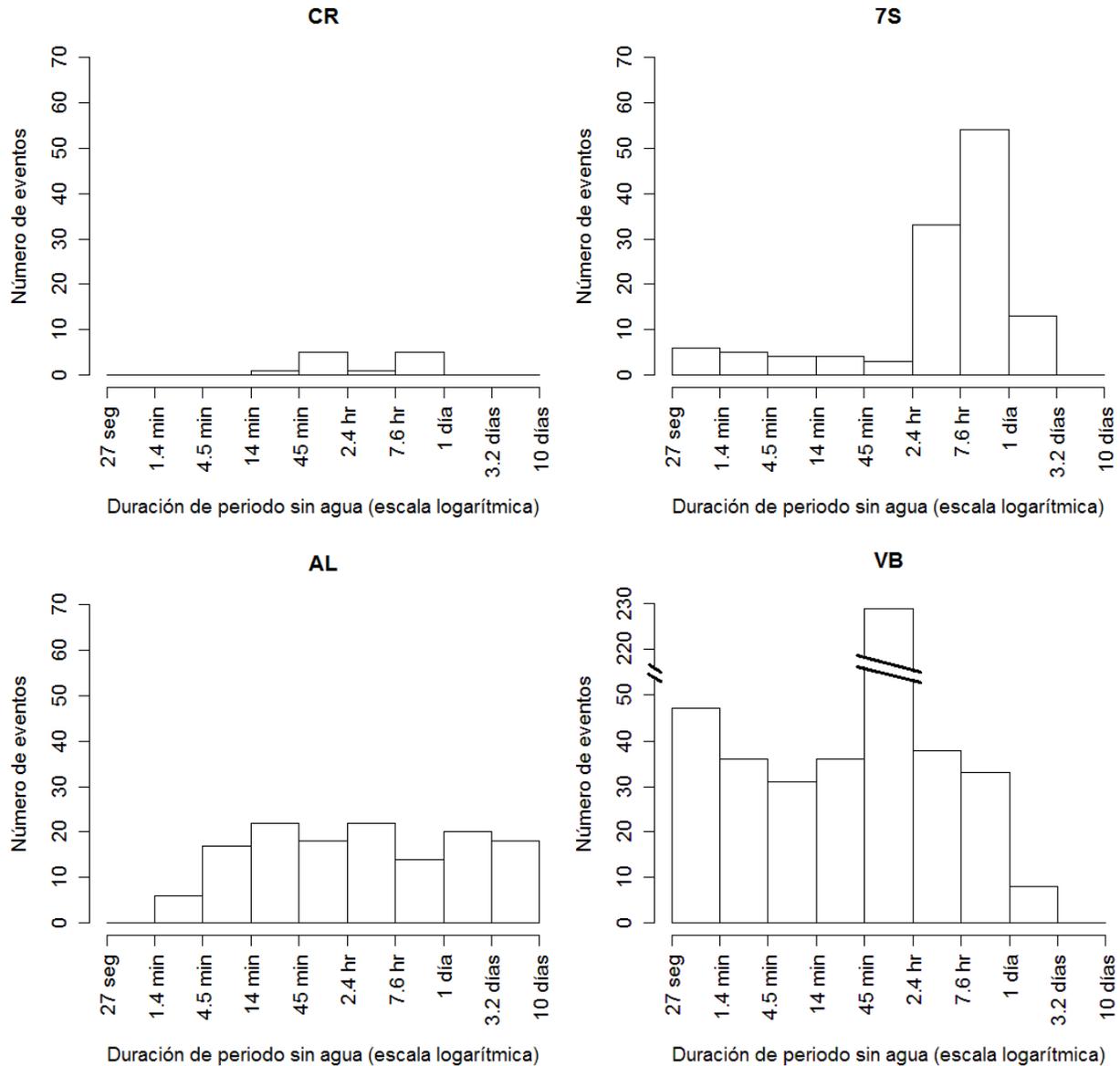


Figura 7. Distribución de la duración de periodos sin agua en las cuatro zonas de estudio.

Los periodos sin agua en 7S normalmente duraron entre 1 y 24 horas. Una interrupción típica allí duraba desde la tarde hasta aproximadamente la medianoche. Cuando había poca agua en la red,

⁷⁷ A veces los operadores del IDAAN cierran sólo parcialmente la válvula en la entrada de AL para que el agua se dirija a la Generación 2000 (el otro sector que recibe agua cuando AL está cerrada) en forma controlada, porque con la válvula completamente abierta el tanque de reserva en la Generación 2000 a veces se rebalsa.

el Tanque del Millón se quedaba a veces sin agua durante más tiempo y las interrupciones en 7S duraron hasta 3 días.

En VB, EB-VB se paró frecuentemente, pero normalmente los paros no duraron mucho tiempo. Hubo ocho paros por más de 24 horas, con el paro más largo durando 48 horas. Entre el 29 de abril y el 7 de mayo de 2015 EB-VB paró diariamente a las 8:50 pm y arrancó de nuevo a las 4:52 am, provocando quejas de los usuarios (vea a la Sección 9.2). Durante este tiempo una de las dos bombas estaba dañada sin el conocimiento del IDAAN y la otra estaba programada para parar durante la noche.

La Figura 8 muestra el porcentaje de tiempo que cada zona estuvo sin agua, durante cada hora del día y cada día de la semana. Un porcentaje alto para una hora del día o un día de la semana significa que esa zona estuvo sin agua, más frecuentemente, durante esa hora del día o ese día de la semana. Se observa que en AL y CR, la continuidad del servicio no varió mucho, ni por hora del día ni por día de la semana. En CR, esta falta de variación se explica porque la zona casi nunca estuvo sin agua, así que el porcentaje del tiempo sin agua es bajo para todas las horas del día y todos los días de la semana. En AL, la falta de variación se explica porque el servicio fue controlado por una válvula que normalmente se operaba durante la mañana cada 3 días (para abrir o para cerrar); así que no hubo horas ni días específicos en que la zona estuviera más frecuentemente con o sin servicio. Por otro lado, el suministro en 7S y VB varió por hora del día y en 7S también varió por día de la semana. En 7S había más interrupciones en el servicio entre las 3 y las 10 pm, cuando era más probable que el Tanque del Millón estuviera vacío después de la demanda durante el día. En VB había más interrupciones entre las 8 am y las 5 pm, probablemente porque durante esas horas había una mayor demanda en otros sectores y un menor suministro hacia EB-VB. 7S pasaba más tiempo sin agua los días sábado y domingo, cuando muchas personas estaban en sus casas consumiendo agua, por lo que bajaba el nivel del Tanque del Millón.

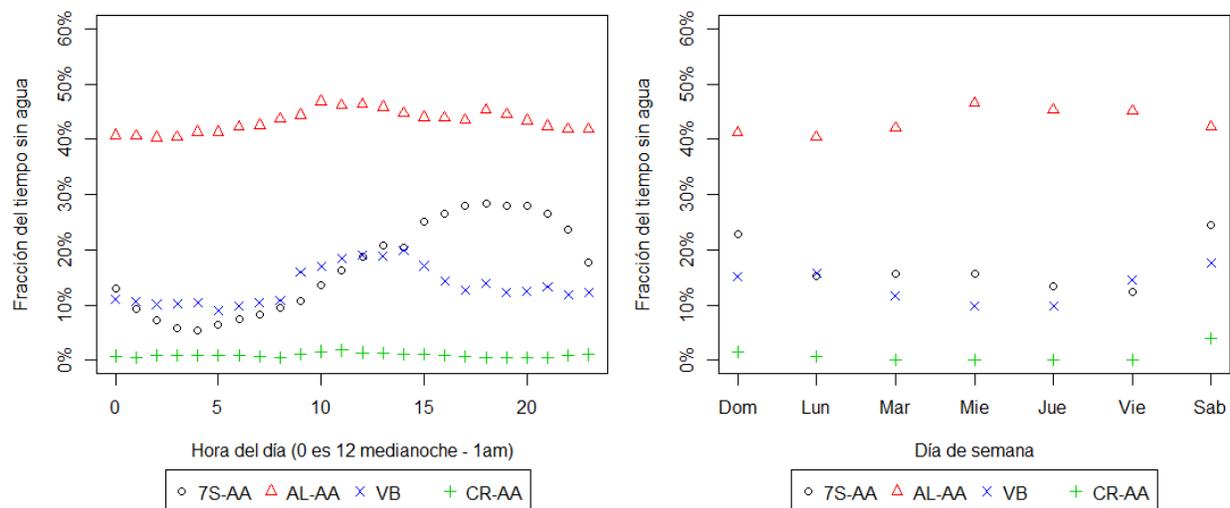


Figura 8. Variación de fracción del tiempo sin agua por hora del día y día de la semana.

La Figura 9 muestra cómo la fracción de tiempo, en que cada zona estaba sin agua variaba durante el año. Se ve que había ocasiones cuando hubo problemas de servicio en una zona y las otras zonas

estaban bien. Por ejemplo, durante finales de octubre y principios de noviembre AL estaba mucho tiempo sin agua, pero no hubo problemas en las otras zonas. También había ocasiones cuando las cuatro zonas estaban con problemas. Por ejemplo, durante principios de septiembre y finales de enero se ve que las cuatro zonas, incluso CR, estaban con problemas de suministro debido a las roturas durante esos dos periodos en la tubería de 24” que viene de la planta Miraflores.

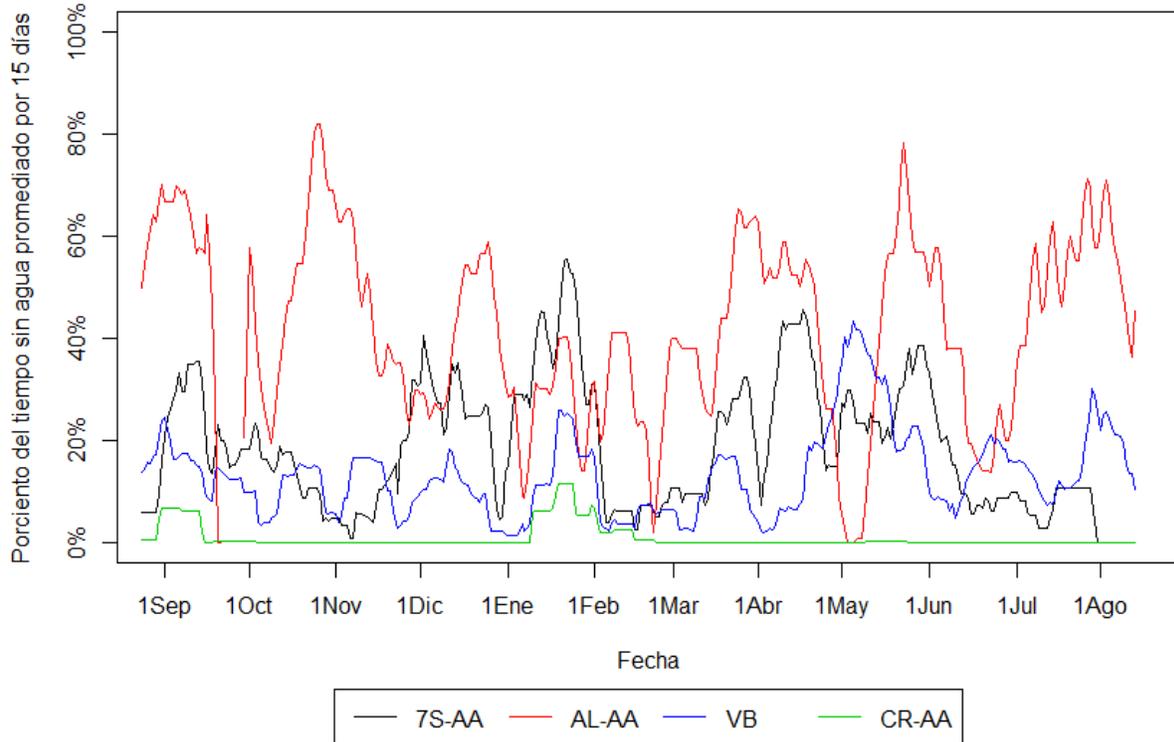


Figura 9. Para cada día se grafica la media móvil de 15 días (el promedio de los 15 días más cercanos) del porcentaje del tiempo que el punto AA estuvo sin agua (o, en el caso de VB, que EB-VB estuvo parada). Nota: El quiebre en la línea para AL-AA se debe a interrupciones en la toma de datos.

El Anexo B incluye más resultados de este análisis.

5.2.2. Presiones transitorias, extremas y negativas

Durante el transcurso del estudio se observó que los equipos de monitoreo a veces detectaban presiones transitorias que no parecían reales. Por su periodicidad, así como por el hecho de que muchas de ellas fueron de un equipo de monitoreo en particular, independientemente de la estación de monitoreo, y por los cambios bruscos que no tenían la forma de onda que normalmente tienen las transitorias, algunas de las transitorias que se detectaban parecían ser falsas (Figura 10). Un equipo grababa más de estas presiones transitorias sospechosas que los otros, pero varios equipos grabaron transitorias que no parecían reales.

Algunas de las presiones transitorias grabadas en la descarga de EB-VB claramente corresponden con el apagado o el arranque de la bomba y tienen la forma de la transitoria que se esperaría (Figura 11). Durante 349 días de monitoreo de la descarga de EB-VB se detectaron 46 eventos de presión

menor de -1 psi⁷⁸ y nueve eventos de presión mayor de 135 psi. De las presiones negativas, la gran mayoría de éstas fue por el arranque de la primera bomba de EB-VB. Cuatro eventos de presión negativa ocurrieron cuando se rompió la tubería aguas abajo de EB-VB o al pararse la bomba cuando la presión estaba baja a causa de una rotura. Muchas veces la presión sostenida en la descarga de EB-VB fue mayor de 120 psi. La presión subió cuatro veces por arriba de 135 psi sin el apagado o el arranque de una bomba. Los otros cinco eventos por arriba de 135 psi ocurrieron cuando dos bombas estaban trabajando y una se paró por poco tiempo y arrancó de nuevo antes de que la presión hubiera bajado. La presión mínima que se midió en la descarga de EB-VB fue de -10.6 psi y la presión máxima fue de 162 psi.

Como no se sabe de antemano qué clase de presiones transitorias podrían estar ocurriendo en las zonas de estudio, es difícil saber si muchas de las transitorias detectadas son reales o falsas. Por eso no se hizo un análisis de la frecuencia y la magnitud de las presiones extremas que ocurrieron en las diferentes estaciones de monitoreo.

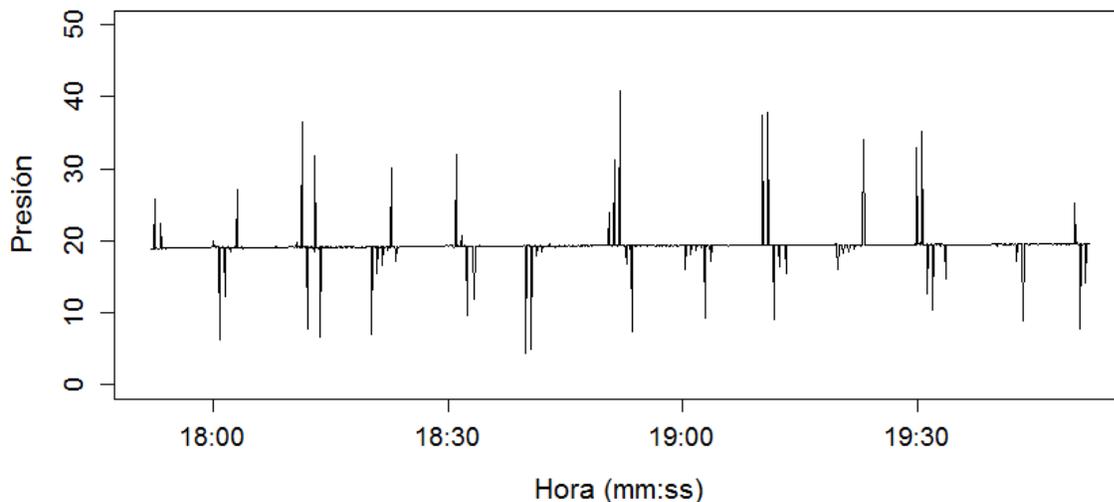


Figura 10. Presión transitoria grabada en 7S-AA que no parece ser real.

⁷⁸ Se escogió el límite de -1 psi porque está suficientemente por debajo de cero para saber que la presión realmente fue negativa y no sólo cero.

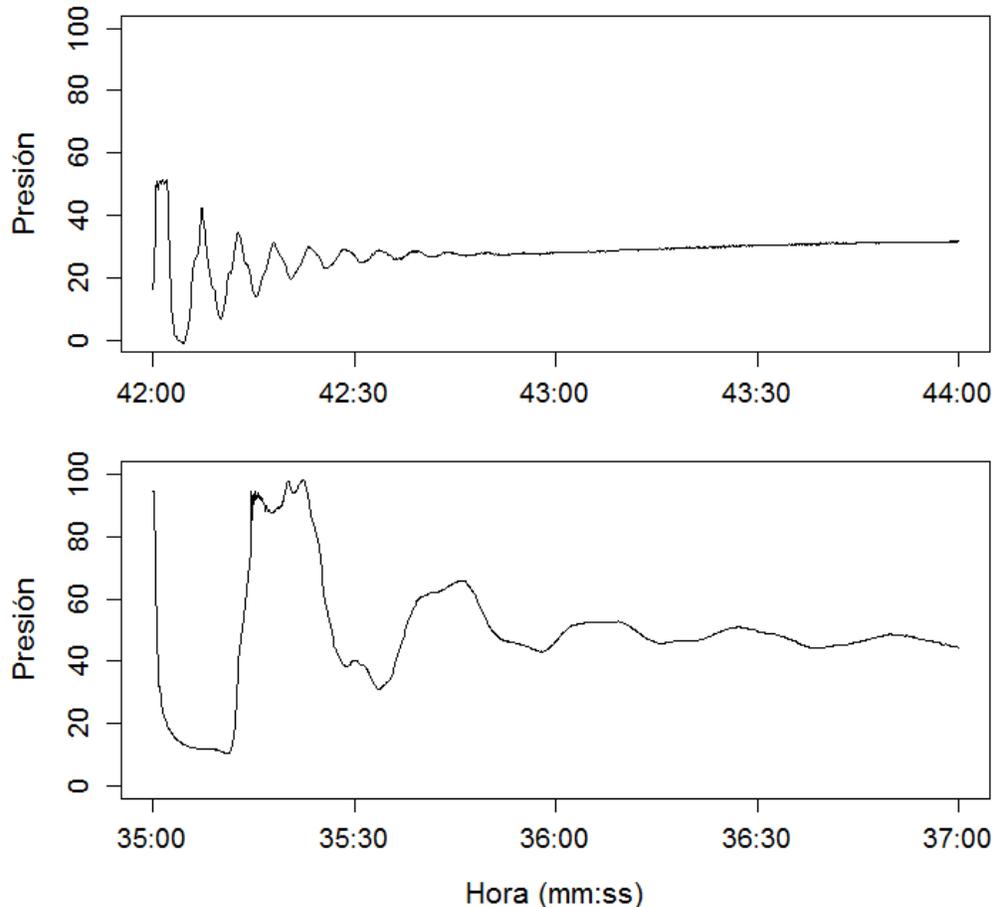


Figura 11. Ejemplos de presiones transitorias por el arranque (superior) y el apagado (inferior) de EB-VB.

En el punto alto de AL-ENT, se registraron presiones negativas sostenidas aun cuando había agua entrando a la zona, indicando que la tubería en ese lugar estaba funcionando como sifón. No hay clientes conectados al tubo en el tramo donde se registraron las presiones negativas, no obstante se está frente a un riesgo obvio para la calidad del agua a través de la intrusión de agua contaminada. Durante 285 días totales de monitoreo, la presión fue menor de -1 psi por un tiempo total equivalente a 110 días (39% del tiempo), y menor de -5 psi por 48 días (17% del tiempo). Durante los 196 días de ese monitoreo cuando había agua pasando por el tubo, la presión fue menor de -1 psi por 67 días (34% del tiempo), y menor de -5 psi por 35 días (18% del tiempo).

Cuando se hizo el muestreo de la calidad del agua durante la primera descarga en Las Nubes (ver la ubicación de Las Nubes en la Figura 1 y una descripción de su operación en la Sección 6.1.2.) se observaron presiones negativas en los grifos domiciliarios después de que terminó un periodo de suministro. Se sabía que las presiones eran negativas porque se podía sentir el aire que entraba por el grifo. Dado que muchos usuarios en Las Nubes usan una manguera conectada a su grifo para llenar recipientes, esas presiones negativas presentan un riesgo para el reflujos cuando la manguera queda sumergida en un recipiente o en otro cuerpo de agua contaminada.

5.2.3. Roturas de tuberías

El monitoreo continuo de la presión y el caudal detectó roturas de tuberías en varias ocasiones. La Figura 12 muestra los datos de una rotura en AL. Cuando la rotura ocurrió cerca de la medianoche, el caudal de entrada aumentó y la presión bajó. Aproximadamente a las 9 am, el IDAAN cerró la válvula de control y paró el flujo hacía la rotura.

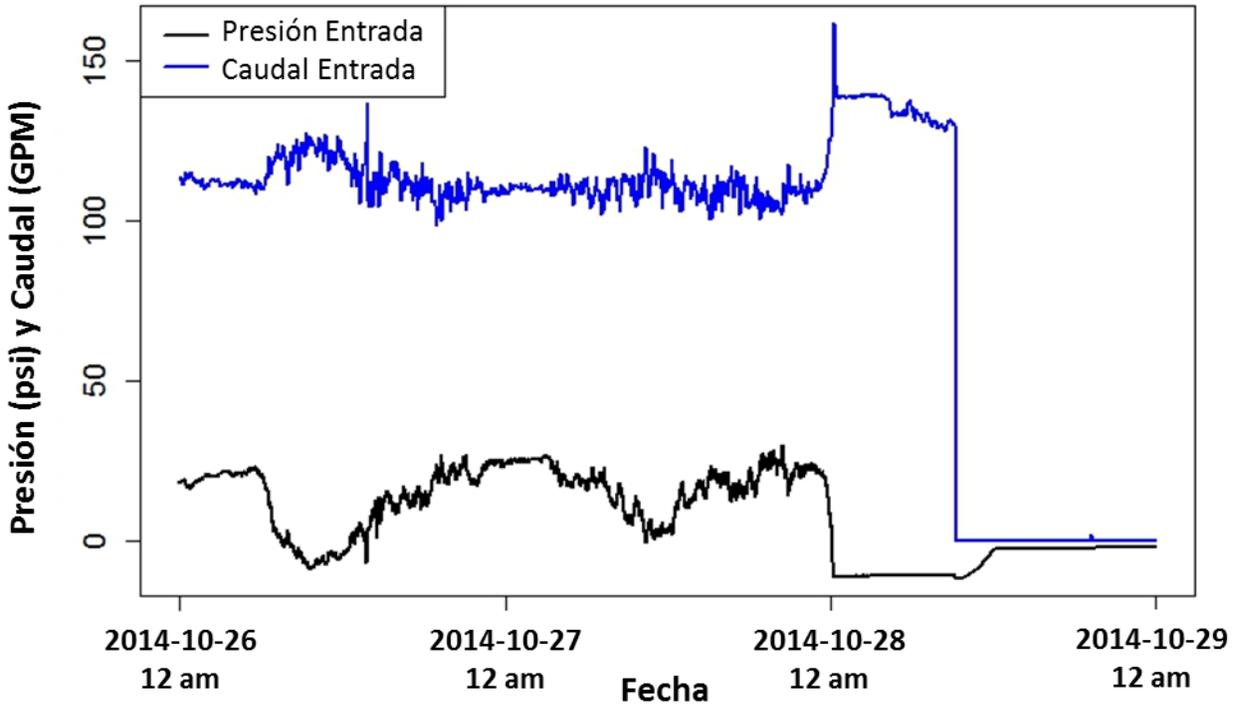


Figura 12. Datos de monitoreo continuo de presión y caudal de AL-ENT durante una rotura el 28 de octubre del 2014.

5.2.4. Eventos de turbiedad alta

El enfoque del análisis de las mediciones continuas de la turbiedad y el cloro residual fue en los puntos de aguas abajo, donde se podría detectar cualquier deterioro en la calidad del agua que ocurrió dentro de la zona de estudio. Para turbiedad, se contabilizaron los eventos cuando ésta fue mayor de 1.0 NTU por un mínimo de dos mediciones seguidas.⁷⁹ A veces hubo varios eventos seguidos o en que la turbiedad oscilaba por arriba y por debajo de 1.0 NTU. Cualquier grupo de eventos donde no transcurrió más de una hora entre dos eventos contiguos fue agrupado y considerado como un solo evento. La duración de un evento fue calculada sólo tomando en cuenta el tiempo en que la turbiedad estaba por arriba de 1.0 NTU.

La Tabla 4 resume los eventos de alta turbiedad en el punto AA de cada zona. La causa más probable de cada evento se determinó visualmente, con un gráfico de la turbiedad en el punto AA y en la entrada de la zona, y la presión en AA y la entrada. Se ve que en las zonas intermitentes la causa más común de los eventos de alta turbiedad fue la primera descarga. Sin embargo, durante

⁷⁹ Sólo se analizaron los datos donde había una presión positiva, porque sólo durante ese momento se presentaba un flujo por el sensor de turbiedad.

estos eventos, no se sabe si todas las medidas de turbiedad por el sensor son reales, porque la primera descarga puede venir con aire o suspender sedimentos en las mismas mangueras de muestreo, afectando las medidas del sensor de turbiedad. En el muestreo puntual de calidad del agua, durante las primeras descargas, había ocasiones en que el sensor de turbiedad continua registraba valores más altos que la turbiedad de las muestras puntuales. Para la primera descarga, la caracterización de la turbiedad que se hizo por muestreo puntual fue más confiable que la que se hizo con el monitoreo continuo.

En CR-AA, se detectaron pocos eventos de alta turbiedad, y la gran mayoría fueron eventos aislados sin explicación o asociados con alta turbiedad en la entrada de la zona. En 7S-AA se detectaron 18 eventos aislados, la causa de éstos no se podría explicar por cambios de presión ni por alta turbiedad en la entrada. En AL-AA la mayoría de los eventos fueron de primera descarga, pero también había cinco eventos aislados que no se podían explicar. En VB-AA se detectaron 30 eventos de alta turbiedad cuando la presión estaba baja o bajando; esto fue tal vez porque durante ese momento el agua entraba de otro sector y las direcciones de flujo en algunas tuberías cambiaron, levantando los sedimentos.

Para investigar la causa de los eventos donde la turbiedad alta vino desde la entrada de la zona, se revisaron los registros de turbiedad en las salidas de las plantas Miraflores y Laguna Alta.⁸⁰ Para tres de estos eventos, se encontraron turbiedades mayores que lo normal (0.61 NTU, 0.68 NTU y 0.96 NTU para cada evento) registradas en la salida de una las plantas potabilizadores durante las horas antes del evento. Para ninguno de los tres eventos se encontraron turbiedades por encima de 1.0 NTU en la salida de una planta, pero puede ser que la turbiedad de salida haya sido mayor que 1.0 NTU por un periodo de tiempo corto entre las muestras del registro. El registro de la planta Laguna Alta fue de cada 2 horas, pero el registro de Miraflores fue solo de cada 24 horas. Para los otros eventos donde la turbiedad alta vino desde la entrada de la zona pero no fue asociada con turbiedad alta, registrada en la salida de una potabilizadora, puede ser que la turbiedad subió entre la planta y la entrada de la zona por la intrusión de agua turbia o la suspensión de sedimento en las tuberías o un tanque de almacenamiento, o que la turbiedad en la salida de la planta subió por un tiempo demasiado corto para ser reflejado en el registro.

⁸⁰ Estos datos fueron proporcionados por Aguas de Panamá, S.A. y la ACP.

Tabla 4. Resumen de eventos con turbiedad mayor de 1.0 NTU por un mínimo de dos mediciones seguidas. *A veces la presión en VB-AA bajó porque una o dos de las bombas de EB-VB estaban apagadas, pero no bajó a cero porque el agua aún entraba por otra tubería. Cualquier evento de turbiedad alta que estuvo asociado con el arranque de una bomba de EB-VB fue considerado de “Primera descarga” aun si la presión en VB-AA nunca había bajado a cero.

Lugar	Días de medición	Tipo de evento	Número de Eventos	Causa probable del evento							
				Primera descarga		Presión baja o suministro está por terminar		Turbiedad alta que viene desde la entrada		Evento de turbiedad alta aislada	
				#	%	#	%	#	%	#	%
CR-AA	83	Total	21	2	10%	1	5%	9	43%	9	43%
		> 5 NTU	2	1	50%	1	50%	0	0%	0	0%
		> 10 min	7	0	0%	1	14%	6	86%	0	0%
7S-AA	94	Total	32	13	41%	0	0%	1	3%	18	56%
		> 5 NTU	8	8	100%	0	0%	0	0%	0	0%
		> 10 min	9	5	56%	0	0%	1	11%	3	33%
AL-AA	103	Total	23	17	74%	0	0%	1	4%	5	22%
		> 5 NTU	11	11	100%	0	0%	0	0%	0	0%
		> 10 min	8	6	75%	0	0%	1	13%	1	13%
VB-AA*	92	Total	76	38	50%	30	39%	4	5%	4	5%
		> 5 NTU	24	13	54%	11	46%	0	0%	0	0%
		> 10 min	29	13	45%	15	52%	1	3%	0	0%

5.2.5. Monitoreo de cloro residual

Para el cloro libre residual se contabilizaron los eventos en que la medición de cloro estuvo por debajo de 0.2 mg/L, la concentración recomendada por la Organización Mundial de la Salud.⁸¹ Solo se consideraron las mediciones cuando la presión estaba por arriba de 1 psi, porque sin esta presión mínima el flujo por el sensor de cloro no es lo suficiente para lograr una medición real. Igual que con la turbiedad, se graficaron la concentración de cloro y la presión en los puntos AA y ENT para cada evento, para determinar la causa más probable de éste. Se encontraron 49 eventos de cloro residual bajo pero 48 de ellos fueron asociados con eventos de la primera descarga. Aunque el muestreo puntual, durante las primeras descargas, comprobó que a veces la concentración de cloro fue efectivamente baja, no podemos aseverar con confiabilidad que la concentración realmente estuvo por debajo de 0.2 mg/L cuando la lectura del sensor continuo la registró así durante las primeras descargas. El sensor toma un tiempo para equilibrarse cuando el agua empieza a fluir de nuevo por el sensor mismo, y es difícil saber si las bajas lecturas son porque el sensor aún no se ha equilibrado o porque el cloro residual es efectivamente bajo. Durante el muestreo de los eventos de la primera descarga (Sección 6.1.2) se pudo comparar las medidas de cloro de las muestras puntuales y las medidas del monitoreo continuo. En algunos casos, la medida del monitoreo continuo demoró 2 o 3 minutos más en alcanzar 0.2 mg/L comparada con las

⁸¹ World Health Organization. 2011. “Guidelines for drinking water quality, fourth edition.”

medidas de las muestras puntuales. La diferencia entre el monitoreo continuo y la concentración real de cloro podría haber sido mayor para los eventos cuando no se tomaron muestras puntuales, porque en esos eventos aire saliendo de las tuberías habría sido expulsado por el sensor de cloro en vez de salir del grifo que se usaba para el muestreo puntual, afectando más a las medidas del sensor. Igual que con la turbiedad, para la primera descarga, la caracterización del cloro residual que se hizo por el muestreo puntual fue más confiable que la que se hizo con el monitoreo continuo.

Aparte de las primeras descargas, se detectó un evento de cloro residual bajo. Ocurrió en el punto VB-AA, duró 22 minutos (solo 0.004% del tiempo total de 403 días de monitoreo en los cuatro puntos aguas abajo), y fue asociado con un nivel de cloro residual bajo en EB-VB, la estación de bombeo que representa la entrada a la zona. Al revisar los registros de salida de las plantas Laguna Alta y Miraflores para las horas antes de ese evento no se encontraron medidas de cloro o turbiedad fuera de lo normal. El evento podría haber sido por la pérdida de cloro residual en la red de distribución, o por una baja en la concentración de cloro en la salida de una planta que fue demasiado corta para aparecer en el registro de la planta.

Aunque es probable que hubo algunos otros eventos de cloro bajo que no se detectaron por estar los sensores de cloro fuera de calibración algunos días, este resultado todavía muestra que, aparte de los eventos de la primera descarga, el nivel de cloro residual libre en las zonas de estudio fue muy confiable. En el caso de estas zonas de Arraiján, donde no hay problemas significativas con mantener un residuo de cloro, el monitoreo continuo de cloro tal vez no es muy necesario, pero el mismo monitoreo podría ser más útil en otras redes de agua potable o en otras partes de la red de Arraiján donde el cloro residual no es tan confiable.

Cabe mencionar que periodos largos sin suministro durante el suministro intermitente podrían presentar problemas con el monitoreo continuo del cloro residual porque, al estar mucho tiempo sumergido en el agua que no está fluyendo cuando no hay suministro, puede afectar el rendimiento del sensor después de que el suministro se reanuda. En AL, tal vez porque fue la zona con los periodos más largos sin suministro, fue más difícil mantener la calibración del sensor de cloro.

6. Muestreo puntual para calidad del agua

6.1. Métodos

6.1.1. Muestreo rutinario

Las muestras rutinarias de calidad del agua se tomaron tanto de los grifos de muestreo de las líneas de conducción provenientes de las dos plantas potabilizadoras como de los grifos de muestreo y los grifos domiciliarios en las zonas de estudio. Todas las muestras se tomaron entre las 7 am y las 4 pm. Para cada día de muestreo, primero, se tomaron muestras de las dos líneas de conducción (una muestra del punto NC en la línea que viene de Laguna Alta y una muestra del punto LC en la línea que viene de Miraflores). Después, se tomaron muestras de una, dos o tres de las zonas de estudio. Para cada zona se tomó una muestra del grifo en la estación de monitoreo continuo en la entrada (ENT), una muestra de la estación de monitoreo continuo aguas abajo (AA) y una muestra de cada uno de los grifos domiciliarios de tres casas. Cada vez que se muestreaba una zona, se intentó muestrear las mismas tres casas; pero si no había nadie en una de las casas habituales, entonces se muestreó una casa suplente lo más cerca posible de la anterior.⁸²

Se analizaron muestras para cloro libre residual y turbiedad en el campo y para coliformes totales y *E. coli* en el laboratorio del IDAAN, en La Chorrera. El Anexo C detalla los métodos de muestreo y análisis.

6.1.2. Muestreo de la primera descarga

Durante los eventos de la primera descarga (las primeras dos horas de suministro después de una interrupción) en las zonas donde el servicio es intermitente, se tomaron una serie de muestras para evaluar la calidad del agua. Cuando fue posible, se tomaron muestras para coliformes totales, *E. coli*, y bacterias de conteo de placa heterotrófica (HPC) de la primera salida de agua del grifo y, también, después de 1, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 80, 100 y 120 minutos de suministro. Asimismo, se tomaron muestras para bacterias aeróbicas formadoras de esporas, las cuales se han usado en otros estudios como indicadores potenciales de una intrusión,⁸³ después de 1, 5, 20, 60 y 120 minutos de suministro. Además de las muestras programadas, se tomaron muestras bacteriológicas adicionales si se notaba una alta turbiedad. Se tomaron y se analizaron muestras para turbiedad y cloro libre residual aproximadamente cada 5 minutos durante las primeras dos horas de suministro. El Anexo C detalla los métodos de muestreo y análisis.

Además de las muestras puntuales, durante la mayoría de los eventos de primera descarga, se monitorearon en el punto de muestreo la presión, la turbiedad y el cloro libre residual con los mismos equipos que se usaron para el monitoreo continuo detallado en la Sección 5. A veces, probablemente por los posibles errores de medición mencionados en las Secciones 5.2.3 y 5.2.4, las medidas de los sensores continuos de cloro y turbiedad no coincidían con las muestras puntuales durante los primeros minutos de muestreo, tal vez por el aire o el sedimento en los sensores o mangueras. Por lo general, no hubo evidencia de que el monitoreo continuo detectara

⁸² Durante los primeros meses de estudio aún no se habían instalado las estaciones de monitoreo continuo. Durante esos meses se muestrearon sólo las tomas domiciliarias.

⁸³ Cartier, C., M.C. Besner, B. Barbeau, et al. 2009. "Evaluating Aerobic Endospores as Indicators of Intrusion in Distribution Systems." *Journal AWWA* 101(7): 46–58.

una variación en la turbiedad y el cloro libre residual que no fue detectada por el monitoreo puntual y, por eso, no se presentan aquí los resultados del monitoreo continuo de las primeras descargas.

6.1.3. Muestreo del agua almacenada

En las cuatro zonas de estudio, entre mayo y agosto de 2015, se tomaron muestras del agua potable que unos usuarios tenían almacenada en sus domicilios. Usando la base de datos SIG se eligieron 24 casas de cada zona, distribuidas geográficamente al azar. El muestreo se realizó durante el día y si no había nadie en una casa elegida se tomó la muestra en otra casa cercana en donde había alguien en casa. En cada casa se tomó una muestra del agua que el usuario tenía almacenada para beber. Algunos usuarios en CR no tenían agua almacenada, en estos casos se iba a otra casa a muestrear. Las muestras fueron analizadas para cloro libre residual y turbiedad en el campo y para coliformes totales y *E. coli* en el laboratorio.

Además de tomar las muestras de agua, se recabó la siguiente información:

- Tiempo transcurrido desde que se interrumpió el servicio del IDAAN o (si había agua en ese momento) tiempo transcurrido desde que se restableció el servicio.
- Tiempo transcurrido desde que se llenó el recipiente de almacenamiento de donde se tomó la muestra.
- Origen del agua muestreada (grifo del IDAAN en la casa, grifo de un vecino o agua embotellada de la tienda).
- Tipo de recipiente donde el agua estaba almacenada (botella, cubo de 1 a 10 galones, jarra, tanque grande de 10 a 55 galones), si el recipiente estaba tapado, cómo el usuario extraía el agua del recipiente (la vertía o la sacaba con un vaso u otro recipiente) y si el recipiente se guardaba en la nevera.
- Capacidad (en galones) del usuario para almacenar el agua para tomar y galones de agua para tomar que el usuario tenía almacenada a la hora de tomar la muestra.

Para tomar una muestra de un recipiente que el usuario vertía para sacar agua, se desinfectaba la boca del recipiente con cloro y después se vertía el agua del recipiente para sacar la muestra. Para tomar una muestra de un recipiente donde el usuario sumergía un vaso u otro recipiente para extraer el agua, se sacaba la muestra con un recipiente de aluminio esterilizado.

6.2. Resultados

6.2.1. Muestreo rutinario

Se tomaron muestras puntuales rutinarias entre octubre de 2013 y marzo de 2015. La Tabla 5 presenta el número de muestras de cada tipo de punto de muestreo que fueron analizadas para cada parámetro.⁸⁴

⁸⁴ Aunque se intentó analizar cada muestra para cloro libre residual, turbiedad, coliformes y *E. coli*, algunas muestras sólo fueron analizadas para uno o dos de los parámetros, pues se presentaron problemas con los métodos de laboratorio para coliformes y *E. coli* durante los primeros meses del estudio y algunas fallas en los equipos de campo para medir cloro y turbiedad.

Tabla 5 Número de muestras rutinarias con cada tipo de análisis y cada tipo de punto de muestreo.

Tipo de análisis	Cloro libre residual	Turbiedad	Coliformes y <i>E. coli</i>
Líneas de conducción	93	93	91
Puntos de entrada	94	95	88
Puntos aguas abajo	82	81	80
Grifos domiciliarios	229	227	165
No. total de muestras	498	496	424

La Figura 13 y la Figura 14 muestran las distribuciones y los promedios de cloro y turbiedad para las muestras de las líneas de conducción de las plantas y los otros puntos en la red de distribución. Aunque 38% de las muestras de cloro estuvieron por debajo de la norma panameña de 0.8 mg/L; cabe notar que la norma panameña para cloro residual es más alta que la de algunos otros países.⁸⁵ Sólo 3.4% de las muestras se hallaron por debajo de 0.5 mg/L y ninguna muestra fue inferior a 0.3 mg/L. El 98% de las muestras de turbiedad estuvieron por debajo de la norma panameña de 1.0 NTU.⁸⁶ Las nueve muestras con turbiedad por encima de 1.0 NTU no se incluyen en la Figura 14, pero se detallan en la Tabla 6.

De las 424 muestras analizadas para coliformes totales y *E. coli*, cuatro (< 1%) fueron positivas para coliformes totales, tres estuvieron por encima de la norma panameña para coliformes totales de 3 NMP (número más probable) por 100 mL,⁸⁷ y una muestra fue positiva para *E. coli*. La muestra que fue positiva para *E. coli* fue tomada después de la reparación del tubo que lleva agua hacia VB; esa misma tuvo una turbiedad de 83 NTU y una concentración de 1 NMP *E. coli* por 100 mL, mayor del valor máximo permisible de 0 NMP por 100 mL según la norma Panameña.⁸⁸

Los resultados del monitoreo que el IDAAN hizo durante el mismo periodo en los sectores de Loma Cova, Arraiján Cabecera y Burunga fueron parecidos a los del muestreo rutinario en este estudio. De 287 muestras del IDAAN, una (< 1%) tuvo menos de 0.2 mg/L cloro, cuatro (1.4%) estuvieron por debajo de 0.5 mg/L y 23 (8%) estuvieron por debajo de la norma COPANIT de 0.8 mg/L. Cinco (1.9%) de 270 muestras que el IDAAN tomó para turbiedad estuvieron por encima de 1.0 NTU, y tres (2.5%) de las 117 muestras analizadas para coliformes totales fueron por encima de 3 NMP por 100 mL. Ninguna muestra fue positiva para coliformes fecales o *E. coli*. En los otros sectores de la red de Arraiján, los resultados del IDAAN para turbiedad y coliformes totales fueron similares, pero hubo más incidencia de concentraciones bajas de cloro, con 2.9% de las

⁸⁵ No se hizo un estudio exhaustivo de las normas de otros países, pero la norma panameña (Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. “Agua Potable. Definiciones y Requisitos Generales.”) de un valor mínimo de cloro residual es más estricta que las normas de otros países que se revisaron. Para condiciones normales, las normas para el valor mínimo de cloro libre residual en El Salvador (NSO 13.07.01:08) y Colombia (Resolución No. 2115 de 2007) son de 0.3 mg/L, y en México (NOM-127-SSA1-1994) la mínima es de 0.2 mg/L. La Organización Mundial de Salud recomienda una concentración mínima de cloro residual libre de 0.2 mg/L en la red de distribución (World Health Organization. 2011. “Guidelines for drinking water quality, fourth edition.”)

⁸⁶ Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99.

⁸⁷ Ibid.

⁸⁸ La norma Panameña es para coliforms fecales en vez de *E. coli* pero una muestra positiva para *E. coli* sería positiva para coliformes fecales también.

muestras por debajo de 0.2 mg/L, 24% de las muestras por debajo de 0.5 mg/L y 45% de las muestras por debajo de 0.8 mg/L. En particular, el cloro frecuentemente fue bajo en los áreas de Chapala y el Puerto de Vacamonte.

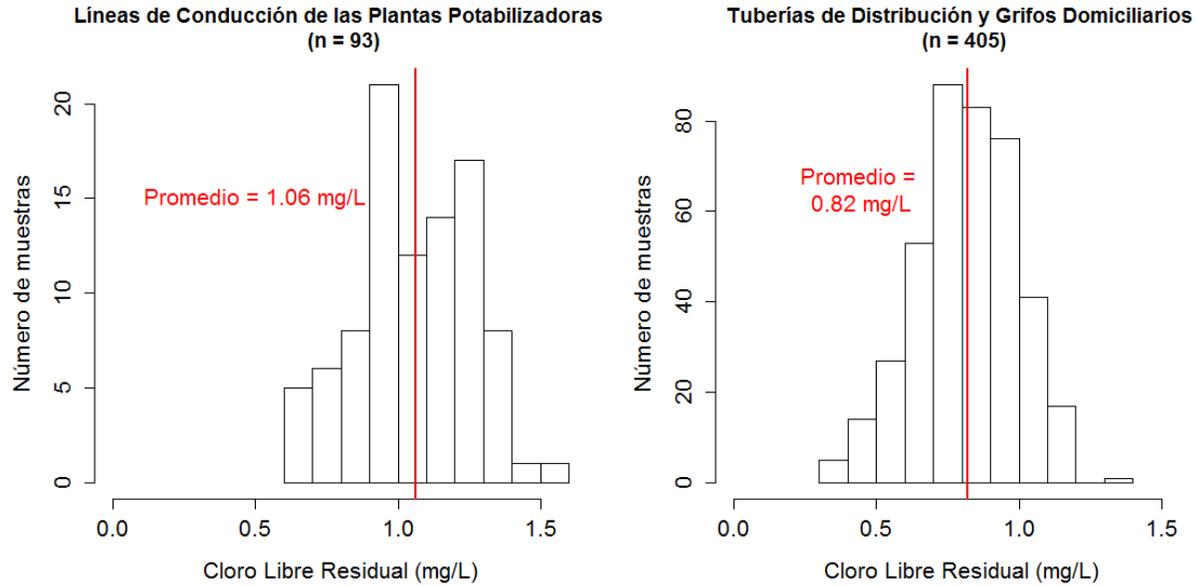


Figura 13. Distribución de cloro libre residual.

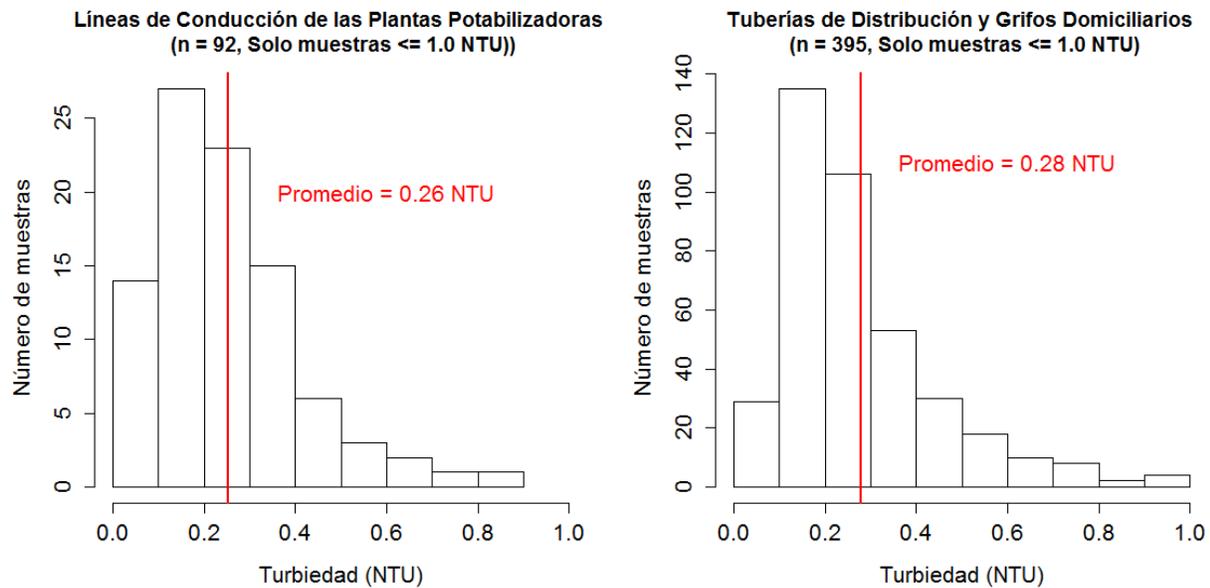


Figura 14. Distribución de turbiedad. Nota: Para las muestras de tuberías de distribución y grifos domiciliarios, la distribución y el promedio no toman en cuenta nueve muestras con turbiedad arriba de 1.0 NTU. Esas muestras se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Detalles de las muestras con turbiedad por encima de 1.0 NTU. Las altas turbiedades de 2014-04-23 se explican por contaminación en la línea de conducción desde la planta Miraflores, por una interconexión que allí se hizo. La alta turbiedad en LC de 2014-10-09 fue asociada con turbiedad más alta que lo normal en la salida de la planta Miraflores. Las altas turbiedades en VB de 2014-10-20 se explican por la reparación de una rotura en la tubería que conduce agua hacia VB. No se conoce la razón de las otras altas turbiedades, pero como todas son de grifos domiciliarios, la mayoría de ellas podría deberse a la plomería domiciliaria. (NHD = no hay datos, DLD = debajo del límite de detección)

Fecha	Hora	Área	Punto de muestreo	Turbiedad (NTU)	Cloro libre residual (mg/L)	Presión (psi)	Coliformes (NMP por 100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP por 100 mL)
2014-04-23	12:15	7S	Casa 136	7.3	0.77	NHD	DLD	DLD
2014-04-23	14:06	7S	7S-AA	6.16	0.5	24	DLD	DLD
2014-04-23	14:32	7S	Casa 99	6.52	0.53	<12	DLD	DLD
2014-06-03	12:48	VB	Casa 128	1.37	0.31	22	DLD	DLD
2014-10-09	8:20		LC	1.03	0.87	41	DLD	DLD
2014-10-20	14:41	VB	VB-AA	83.45	0.31	36	4.1	1
2014-10-20	14:58	VB	Casa 98	3.43	0.47	26	DLD	DLD
2014-12-18	13:55	VB	Casa 98	2.67	0.58	23	DLD	DLD
2015-02-02	10:53	VB	Casa 98	2.76	1	30	DLD	DLD

6.2.2. Muestreo de la primera descarga

Entre junio de 2014 y marzo de 2015 se tomaron muestras durante 33 eventos de la primera descarga en las tres zonas de estudio con servicio intermitente y Las Nubes (ubicada en Figura 1). Ésta es otra zona con servicio intermitente donde normalmente hay un suministro de aproximadamente 2 horas, durante la tarde cada 2 días, cuando se abre la salida de un tanque de reserva. Para 13 de esos eventos se tomaron las muestras del grifo de una estación de monitoreo y para 20 eventos se tomaron las muestras de un grifo domiciliario.

En algunos eventos de la primera descarga no se detectó una variación destacable en la calidad del agua. La Figura 15 muestra los resultados de un evento de este tipo en la estación de monitoreo aguas abajo de la zona VB después de una interrupción en el suministro por 24 horas. Para 13 de los 33 eventos, todas las muestras cumplieron con las normas panameñas para coliformes totales, *E. coli*, y turbiedad. En otros eventos, durante los primeros minutos, la calidad del agua estuvo degradada; presentó turbiedad elevada, concentraciones de bacterias heterotróficas y bacterias aeróbicas formadoras de esporas elevadas, cloro libre residual bajo y, con menor frecuencia, presencia de coliformes totales y *E. coli*. La Figura 16 muestra uno de los eventos con el mayor deterioro en la calidad del agua. Este evento en AL-AA fue después de una interrupción en el suministro por tres días.

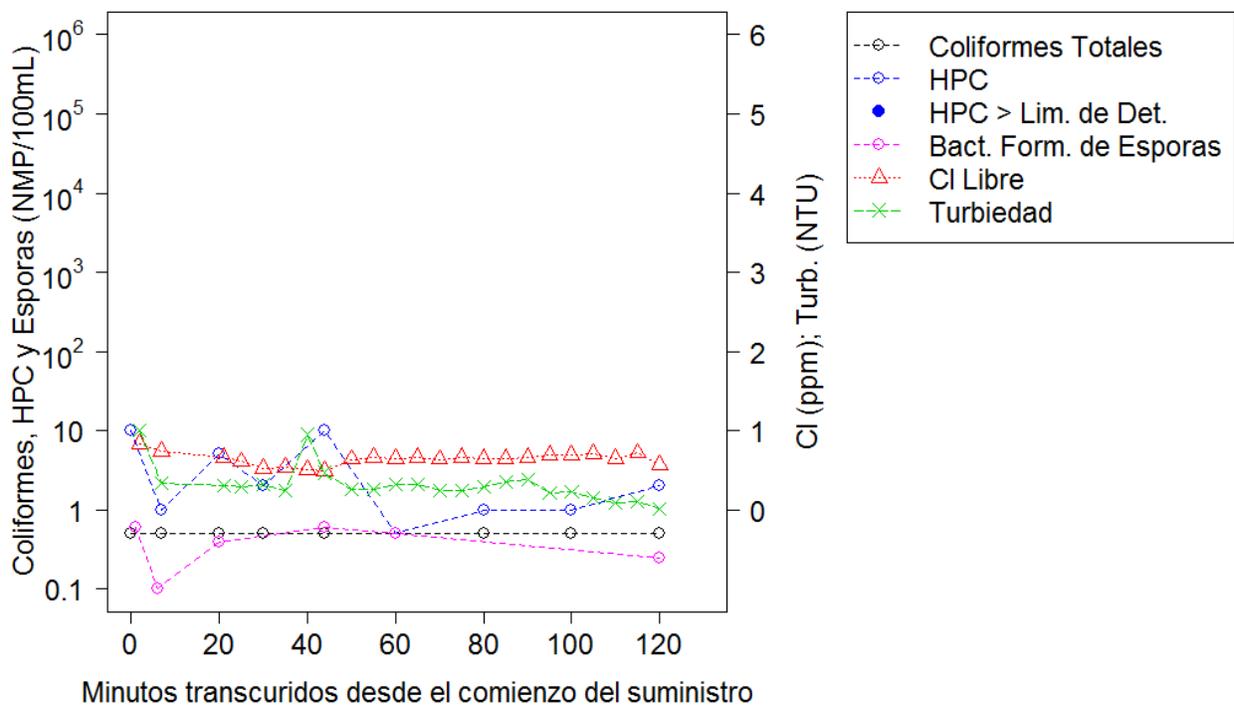


Figura 15. Resultados de un evento de primera descarga en VB-AA el 17 de marzo de 2015.

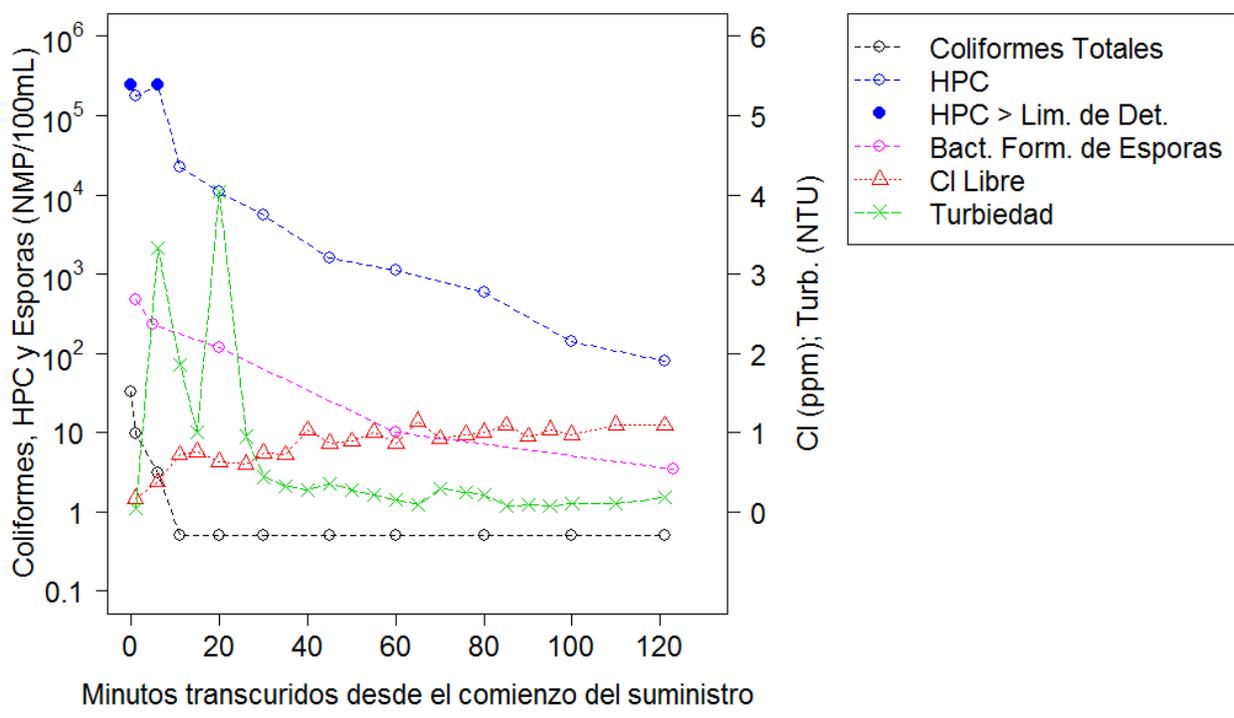


Figura 16. Resultados de un evento de primera descarga en un grifo domiciliario en AL el 14 de noviembre de 2014.

De los 33 eventos de la primera descarga donde se tomaron muestras: en siete eventos, una muestra por lo menos fue positiva para coliformes totales; en seis eventos, una muestra por lo menos estuvo por encima de la norma panameña para coliformes totales de 3 NMP por 100 mL; y en cuatro eventos, una muestra por lo menos fue positiva para *E. coli*. La gran mayoría de los eventos con coliformes (seis de los siete) y todos los eventos con *E. coli* corresponden a los diez eventos en la zona AL. Con la excepción de un evento cuando había coliformes totales durante los primeros 45 minutos de suministro, los coliformes y *E. coli* se encontraban siempre durante los primeros 20 minutos del suministro. Cabe notar que en dos de los eventos donde hubo coliformes totales y *E. coli*, solo la primera muestra, tomada justamente cuando el suministro empezaba, fue positiva. Aunque la boca del grifo siempre fue desinfectada con cloro, en esos dos casos es posible que la contaminación se originara dentro del mismo grifo.

La concentración de bacterias HPC y bacterias aeróbicas formadoras de esporas fue elevada en muchos de los eventos, aun cuando no se detectaron coliformes totales ni *E. coli*, indicando que la calidad del agua fue alterada aun sin la presencia de coliformes y *E. coli*. En varios eventos, la concentración de bacterias HPC y bacterias aeróbicas formadoras de esporas estaba aún bajando después de una hora de suministro. En seis de los 29 eventos, donde se analizaron las muestras para cloro, había una o más muestras con valores de cloro residual libre por debajo de 0.2 mg/L.

En 20 eventos hubo por lo menos una muestra con una turbiedad mayor de 1.0 NTU y en siete eventos se presentó una turbiedad mayor de 5 NTU. En tres eventos, dos asociados a una rotura de una tubería de 6” en Las Nubes y uno después de la reparación de una rotura en la tubería de 6” que conduce agua hacia VB, se detectó una turbiedad por arriba de 100 NTU. En el caso de la rotura en Las Nubes, la alta turbiedad fue durante los últimos minutos de un periodo de suministro del 20 de febrero de 2015 y los primeros minutos de suministro del 22 de febrero. Probablemente, la tubería se rompió el 20 de febrero y el agua turbia entró a la red cuando la presión bajó durante los últimos minutos de suministro. El IDAAN reparó la tubería el 21 de febrero, pero el agua turbia probablemente quedó en la línea y salió durante la primera descarga el 22 de febrero.

Aunque en algunos casos la contaminación por roturas es inevitable, el IDAAN podría mejorar sus prácticas para controlarla. En casos cuando la excavación que haya sido hecha para reparar una rotura se llena de agua, es importante bombear el agua de la excavación lo más pronto posible para evitar que entre en la rotura.⁸⁹ En los casos cuando el agua de la excavación haya probablemente entrado en la tubería que fue reparada, es importante abrir un hidrante o válvula de purga aguas abajo (cuando hay) para lavar las tuberías.⁹⁰

6.2.3. Muestreo del agua almacenada

Los métodos que los usuarios usaban para almacenar el agua para consumo humano y su calidad variaban por zona. De los 95 usuarios, de donde se tomaron muestras, 93 habían almacenado su agua del suministro entubado del IDAAN y dos la habían comprado embotellada de una tienda.

⁸⁹ Water Research Foundation. “Good Practices for Preventing Microbial Contamination of Water Mains: Field Pocket Guide.” 2014.

⁹⁰ Ibid. En muchos sectores de la red de Arraiján no hay un hidrante o es inoperante. Como parte de una mejora en el control de la red de Arraiján, sería importante instalar hidrantes en donde hacen falta y reparar los que existen, pero que son inoperantes.

Estos últimos no se incluyen en los resultados presentados aquí. La Tabla 7 resume los métodos de almacenamiento por zonas de estudio. El 82% de los usuarios usaban métodos de almacenamiento clasificados como “seguros” (en la leyenda de la Tabla 7 se define la manera de calificar un método como “seguro”), pero sólo 43% de los usuarios en AL usaban métodos seguros. La Figura 17 muestra algunos de los métodos de almacenamiento y extracción más comunes. Como era de esperarse, dado los largos periodos de tiempo sin agua en AL, los usuarios de esta zona tenían una mayor capacidad para almacenar agua para beber y un mayor volumen de agua almacenada en el momento. La menor incidencia de almacenamiento seguro en AL podría estar asociada con las diferencias de educación o estatus socioeconómico entre las zonas o, también, con el hecho de que usuarios de AL tienen que almacenar un mayor volumen de agua. La necesidad de almacenar más agua podría originar un uso de recipientes de mayor volumen que son menos seguros, por no estar tapados y por su dificultad en verterlos.

Tabla 7. Resumen de tipos de almacenamiento por área de estudio. *Para ser clasificada como “Almacenamiento seguro” una muestra tenía que provenir de un recipiente seguro (botella o jarra) donde el usuario vertía el agua directamente del recipiente para extraer agua, en vez de sacar agua con la inmersión de otro recipiente.

Área	n	Recipiente seguro		Recipiente inseguro		Método de extracción		Almacen. seguro*	Recipiente tapado	En nevera	Capacidad promedio (gal.)	Volumen lleno promedio (gal.)
		Botella	Jarra	Cubo	Tanque	Verter	Sacar					
CR	23	83%	13%	4%	0%	100%	0%	96%	74%	74%	2.0	1.5
7S	23	91%	9%	0%	0%	100%	0%	100%	83%	74%	4.4	3.8
AL	21	43%	0%	24%	33%	52%	48%	43%	95%	5%	30.2	17.3
VB	27	78%	7%	11%	4%	85%	15%	85%	93%	44%	11.1	9.9
Total	94	74%	7%	10%	9%	85%	15%	82%	86%	50%	11.5	8.0



Figura 17. Ejemplos de métodos comunes de almacenamiento de agua para tomar. A: Tanque (inseguro). B: Cubo de 5 galones (inseguro); Extracción con tasa (insegura). C: Jarra (segura). D: Botella (segura).

De 93 muestras, nueve (10%) fueron positivas para *E. coli*, indicando una concentración mayor de 0 NMP por 100 mL, valor límite establecido por la norma panameña para agua no distribuida por

tubería⁹¹ (Figura 18). Como se esperaba, la incidencia de coliformes totales fue mayor que la de *E. coli*. Un 26% de todas las muestras tuvieron una concentración de coliformes totales por encima del valor límite para agua no distribuida por tubería de 10 NMP por 100 mL⁹². La proporción de muestras fuera de las normas para *E. coli* y coliformes totales fue mucho menor en los casos donde se practicaba un almacenamiento seguro comparado con el almacenamiento inseguro (Figura 18). Sólo dos de las muestras positivas para *E. coli* fueron de los 76 recipientes de almacenamiento seguro. La incidencia de *E. coli* y coliformes totales fue mayor en el agua que tenía más tiempo de estar almacenada (Figura 19). Un cambio en la calidad durante el almacenamiento podría estar asociado con una contaminación durante la extracción del agua y/o un crecimiento bacteriológico, debido al tiempo y a la pérdida del cloro libre residual. El agua que tenía más tiempo de estar almacenada tuvo una menor concentración de cloro residual (Figura 19).

La incidencia de *E. coli* y coliformes totales fue mayor en la zona AL (Figura 20). Esta diferencia se podría deber a la mayor incidencia de almacenamiento inseguro en AL (Tabla 7), al mayor tiempo en que el agua de AL estaba almacenada (Figura 21) o a otros factores no medidos asociados con AL. Dado que muchas de estas muestras fueron obtenidas de agua almacenada por un largo periodo de tiempo, guardadas en recipientes inseguros y tomadas de la zona AL, es difícil usar los datos descriptivos para concluir cuáles de estos factores tuvo un mayor efecto.

Una gran preocupación con respecto al suministro intermitente de agua potable es la probabilidad de una re-contaminación y el crecimiento bacteriológico durante el almacenamiento domiciliar. No obstante, los resultados de este componente del estudio sugieren que, con un almacenamiento seguro, la gran mayoría de los usuarios del IDAAN en las zonas estudiadas han podido proteger su agua almacenada de la contaminación con *E. coli*. Sin embargo, en la zona AL, con el suministro más intermitente, hubo una alta incidencia de *E. coli* en el agua almacenada. Para la salud pública es importante promover métodos de almacenamiento seguros en AL y otras partes de Arraiján que enfrentan las mismas condiciones. Es probable que muchas de las zonas marginales de Arraiján, cuyo suministro de agua es sólo por carro cisterna, tengan condiciones de almacenamiento parecidas o peores que las de AL.

⁹¹ Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. “Agua Potable. Definiciones y Requisitos Generales.”

⁹² Ibid.

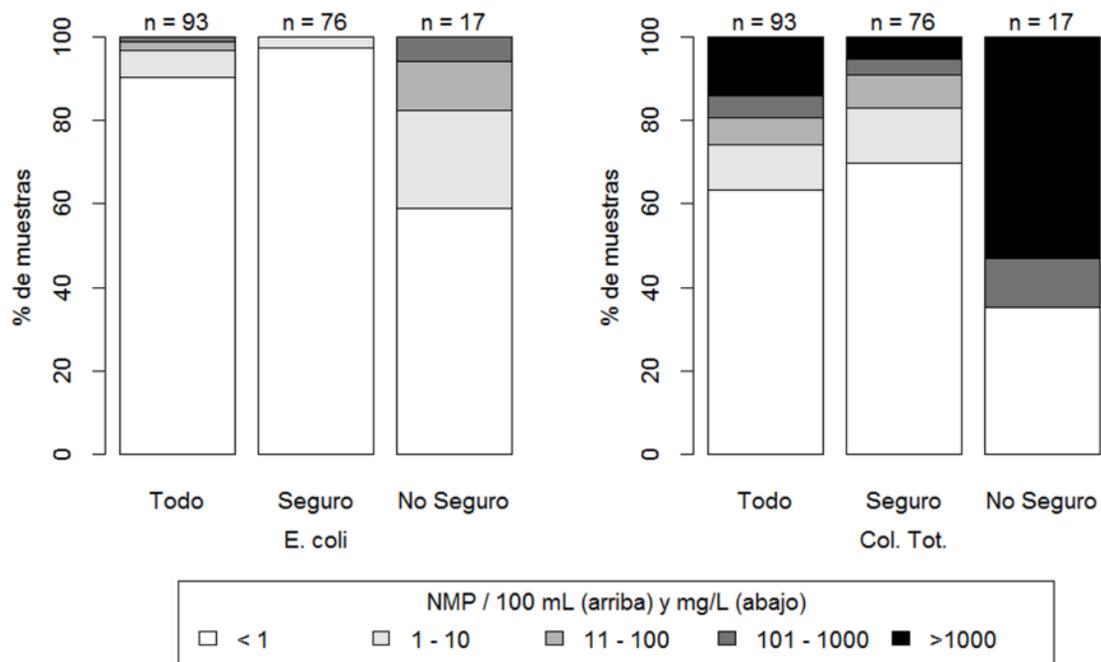


Figura 18. Calidad bacteriológica de todas las muestras de agua almacenada y por tipo de almacenamiento. La leyenda para la Tabla 7 explica las clasificaciones “seguro” y “inseguro”.

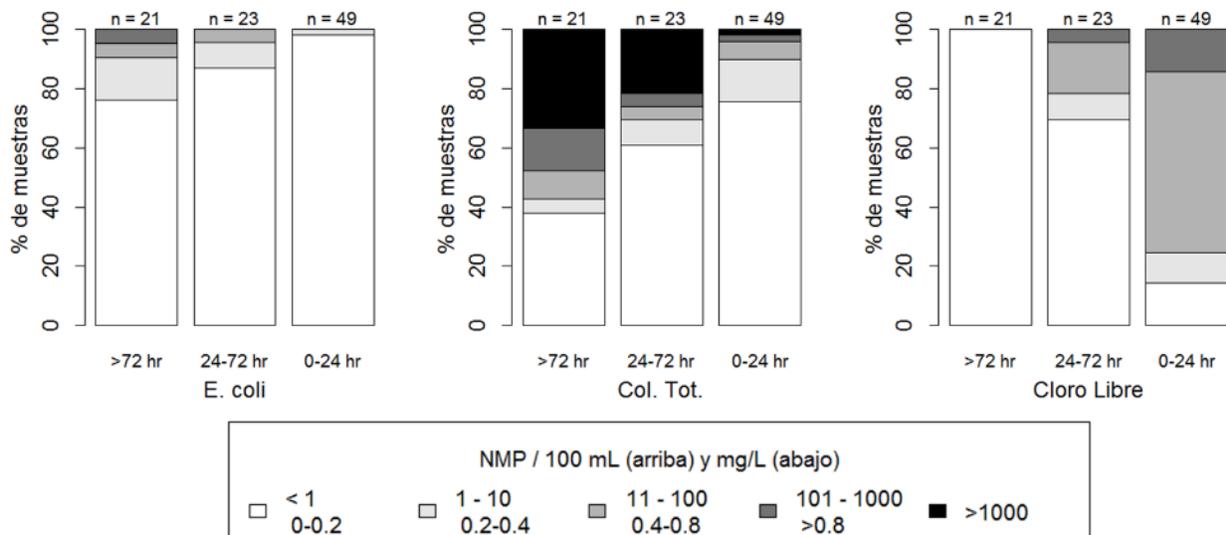


Figura 19. E. coli, coliformes totales, y cloro libre residual por tiempo desde que el usuario había llenado el recipiente.

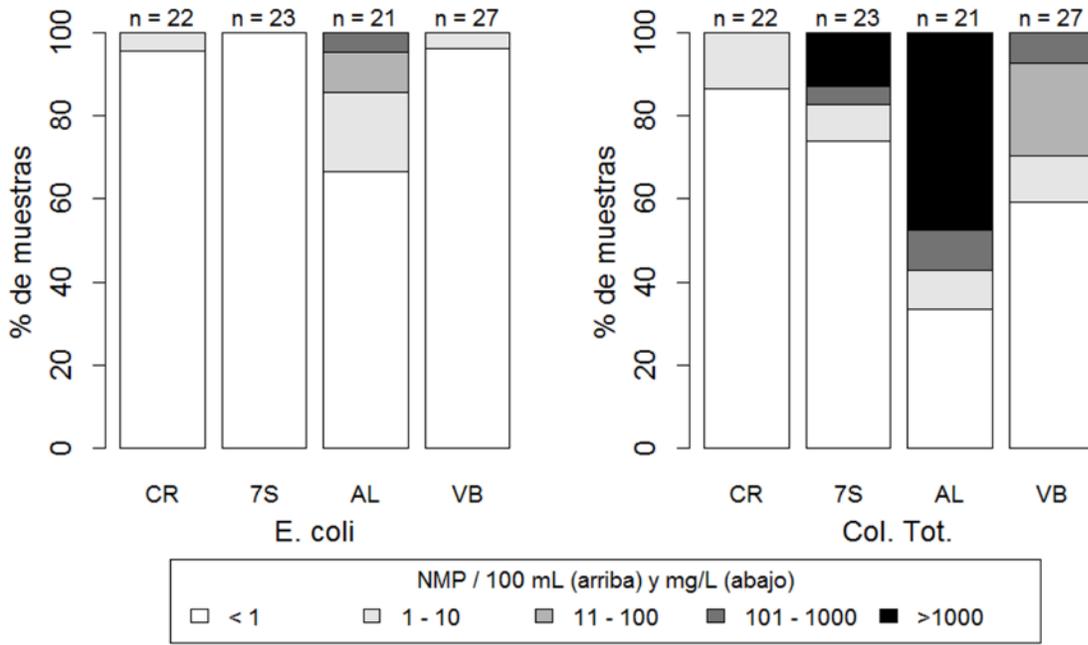


Figura 20. Concentración de *E. coli* y coliformes totales por zona de estudio.

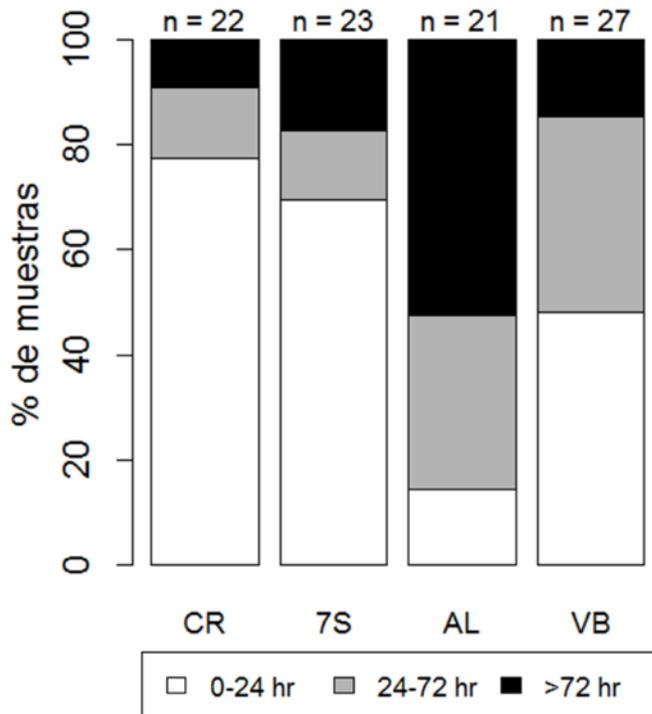


Figura 21. Tiempo transcurrido desde que el usuario llenó el recipiente con que se tomó la muestra, por zona de estudio.

7. Estimación de pérdidas

7.1. Métodos

Los métodos usados en este proyecto para estimar el consumo y las pérdidas en cada zona de estudio, se basan en la idea de crear una zona de macromedición (*District Metering Area*) en cada una de las zonas de estudio. El alcance del proyecto y las limitantes en la disponibilidad de datos limitaron los resultados de este esfuerzo; sin embargo, se pudieron extraer algunas conclusiones que se indican a continuación.

7.1.1. Estimación del caudal entrante

En la(s) entrada(s) de cada zona, la estación de monitoreo contaba con un caudalímetro de tipo inserción, con rueda de paletas, para medir en forma continua el caudal entrante. Los caudalímetros eran de bajo costo; pero, según sus especificaciones, registraban una estimación promedio del caudal de entrada a cada zona con un error de menos de 15%.

Se tuvo cuidado en seleccionar zonas que estuvieran aisladas, de tal manera que con una medición en uno o dos puntos se pudiera medir todo el caudal entrante. Sin embargo, con una información limitada sobre la configuración de la red y sin poder interrumpir el suministro en cada zona para probar definitivamente su aislamiento, no fue posible asegurar, sin lugar a dudas, que no había interconexiones desconocidas entre las zonas de estudio y otras zonas contiguas. A lo largo del proyecto, gracias a los especialistas del BID que lo supervisaron, se vio la necesidad de investigar mejor el aislamiento de las zonas en algunos puntos. Las investigaciones detalladas en el Anexo A indicaron que, aparte de la posibilidad de algunas interconexiones de diámetro menor que no tendrían un gran efecto en los resultados presentados aquí, todas las zonas excepto VB estaban aisladas. En VB se detectó una interconexión significativa con otra área contigua y, por esta razón, no se incluye VB en el análisis de esta sección.

7.1.2. Estimación de consumo y pérdidas

Los datos de micromedición de consumo en las zonas de estudio fueron limitados. Sin embargo, en 7S y CR se consiguieron, para un mes, datos del: consumo medido, para los clientes que tenían medidores que fueron leídos (aproximadamente la mitad de los clientes); y consumo promediado o estimado, para aquellos clientes que no se tenían datos de medición. Entre una zona y otra, hay diferencias en el tipo de vivienda y el nivel socioeconómico que pudieran afectar su consumo de agua potable. Por ejemplo, las casas en AL, en comparación con las de 7S, son por lo general más pequeñas y la mayoría no tiene inodoro. En CR, el tamaño de las viviendas es intermedio entre el de 7S y AL; pero, por lo general, hay más habitantes por casa. Para concretar algunas de estas diferencias entre las zonas, se llevó a cabo una encuesta de una muestra de casas escogida al azar para cada zona (Tabla 9). Aunque el tamaño de la muestra, para esta encuesta, fue pequeño y no fue completamente representativo,⁹³ nos da una aproximación de cómo la cantidad de personas e inodoros por casa varía entre una zona y otra. También, como parte del muestreo del agua almacenada (Sección 6.1.3), se cuantificó la capacidad total para almacenar agua en otra muestra aleatoria de casas, para cada zona.

⁹³ En la encuesta, sólo se pudieron incluir las casas en donde de día había alguien en casa que pudiera participar, excluyéndose las casas donde de día todos los habitantes estuvieron fuera.

A pesar de las limitaciones en medición de caudal y en datos de micromedición, se pudo usar el caudal entrante estimado y el consumo estimado para llegar a algunas conclusiones cualitativas sobre el nivel de pérdidas en las tres zonas analizadas.

7.2. Resultados

Con base en las mediciones del caudal en la(s) entrada(s) de cada zona se calculó el promedio del caudal entrante durante el año del estudio. Para calcular el caudal promedio por construcción, se dividió el caudal promedio entrante entre el número de construcciones de cada zona (la gran mayoría de las construcciones eran casas).⁹⁴ La Tabla 8 muestra los resultados de este análisis. Se observa que el caudal de 948 galones diarios por construcción en 7S es mucho más alto que el de otras zonas.

El caudal más alto por construcción, que correspondiente a 7S, se pudiera deber a un mayor consumo de agua por casa, causado por un tamaño mayor de las casas y un número mayor de inodoros por casa (Tabla 9). Pero, los datos de micromedición de julio de 2015 muestran que el consumo medido y promediado en 7S fue menor que el de CR. Los datos indican que el mayor caudal entrante en 7S, probablemente, se debe a una mayor tasa de pérdidas en la red del IDAAN en esa zona; contribuyendo al 75% por ciento del agua que entra a 7S, pero que no se factura. Se podría inferir que existe una salida de 7S hacia otra zona, sin embargo, como se detalla en el Anexo A, esta situación no parece muy probable.

La Tabla 8 muestra que el caudal entrante por construcción es 25% más alto en CR que en AL, pero debe tenerse en cuenta que CR recibe un suministro más continuo (AL-AA estaba 43% del tiempo sin agua comparado con tan sólo 0.9% en CR-AA) y que los resultados de la encuesta indican una mayor cantidad de habitantes e inodoros por casa en CR. Como la gran mayoría de los usuarios en AL no tiene un contrato formal con el IDAAN, allí no hay datos de micromedición o facturación para poderlos comparar con CR.

Tabla 8. Estadísticas del caudal entrante. *GPCRD = galones por construcción por día.

Zona	Días de datos	Caudal promedio de entrada (GPM)	Construcciones	Caudal promedio diario por constr. (GPCRD)*
CR	346	142	348	586
7S	345	428	650	948
AL	343	75	232	467

⁹⁴ Refiérase a la nota 75 para una explicación del conteo de construcciones.

Tabla 9. Datos de encuesta domiciliar. *Ésta incluye la capacidad para almacenar agua para todos los usos.

Zona	Casas encuestadas para personas y inodoros por casa	Promedio personas por casa	Promedio inodoros por casa	Casas encuestadas para quantificar capacidad de almacen.	Capacidad de almacen. Promedio* (gal por casa)
CR	34	8.7	0.65	18	100
7S	43	4.7	1.3	19	67
AL	48	5.6	0.19	17	260

Tabla 10. Datos de micromedición y caudal entrante. Los datos de micromedición son del último mes facturado que estaba en la base de datos del IDAAN el 7 de agosto de 2015. Suponemos que representan el consumo cercano al mes de julio de 2015. Estos datos se compararon con el caudal entrante medido durante julio. El volumen facturado para los clientes a los que no se les leyó el medidor, se basa en un consumo promedio que el IDAAN asigna a cada área y tipo de cliente o en los datos de micromedición anteriores del mismo cliente, si es que los hay. *Los clientes que consumieron menos del consumo mínimo (8,000 o 6,000 galones por mes para clientes residenciales) se les facturó con el mínimo y sólo se sabe que su consumo fue por debajo del mínimo. Para esos clientes, el consumo se estimó en 75% del mínimo.

Zona	Cuentas totales en la zona	Cuentas con medidor leído en la zona	Caudal entrante (gal./mes)	Volumen facturado (gal./mes)	% del caudal entrante facturado	Facturación por cliente (gal./día)	Consumo medido total (gal./mes) *	Consumo medido por cliente con medidor leído (gal./día)*
CR	320	151	6,863,000	4,213,000	61%	432	2,144,000	473
7S	564	321	21,884,000	5,498,000	25%	325	3,620,000	376

No podemos cuantificar cuánto del agua no facturada consiste de pérdidas físicas (fugas en la red) y cuánto consiste de pérdidas comerciales (agua que llega a los clientes o a tomas clandestinas pero que no se factura), pero los datos de caudales nocturnos indican que una gran cantidad de agua se pierde por las fugas en la red o dentro de la plomería domiciliaria. La Figura 22 muestra que, aunque el caudal promedio por construcción sube un poco durante las horas de la mañana en 7S y baja un poco durante las horas de la madrugada en CR, por lo general el caudal de entrada a cada zona no varía mucho durante el día.

En 7S, el caudal promedio entrante durante la madrugada (hora de caudal mínimo), representa el 81% del caudal promedio entrante durante la hora de caudal máximo. Asimismo, en CR el caudal promedio entrante en la madrugada es 73% del caudal promedio entrante durante la hora de caudal máximo. Esto es a pesar de que el consumo de agua entre las 12 am y 4 am debería ser bajo en CR y 7S. Ya que en CR y la gran mayoría de 7S, los clientes normalmente tienen agua las 24 horas. Lo anterior, puede ser explicado debido a pérdidas de gran parte del caudal entrante durante la madrugada, ya sea por fugas en la red o dentro de la plomería domiciliaria. En AL el caudal

promedio entrante fue casi constante para las 24 horas del día. En esa zona, probablemente, hay clientes que sólo tienen suministro durante las horas de la madrugada y, por eso, ellos podrían acumular agua durante esas horas. Los usuarios encuestados en AL tenían más capacidad de almacenamiento que los usuarios encuestados en 7S y CR (Tabla 9). El caudal entrante a cada zona no cambió mucho con el día de la semana, pero en AL y 7S sí varió con los diferentes meses del año (Figura 23). Los meses con bajo caudal corresponden, de manera aproximada, a los meses cuando el punto AA en la zona tenía un mayor por ciento del tiempo sin suministro (Figura 9).

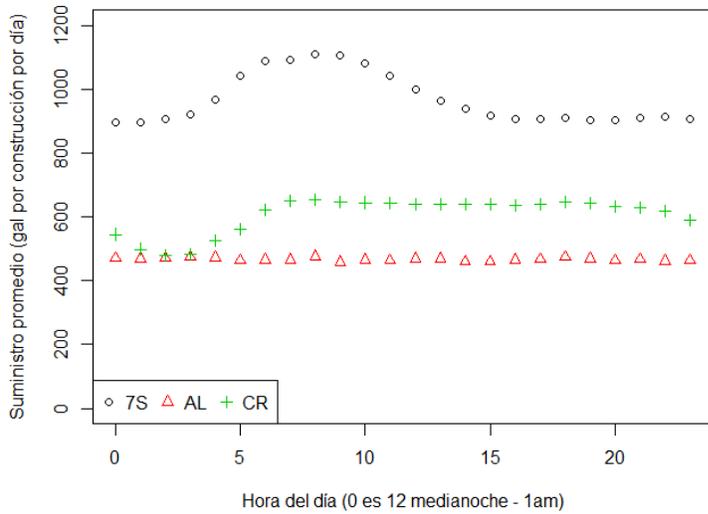


Figura 22. Caudal por construcción promedio para cada hora del día.

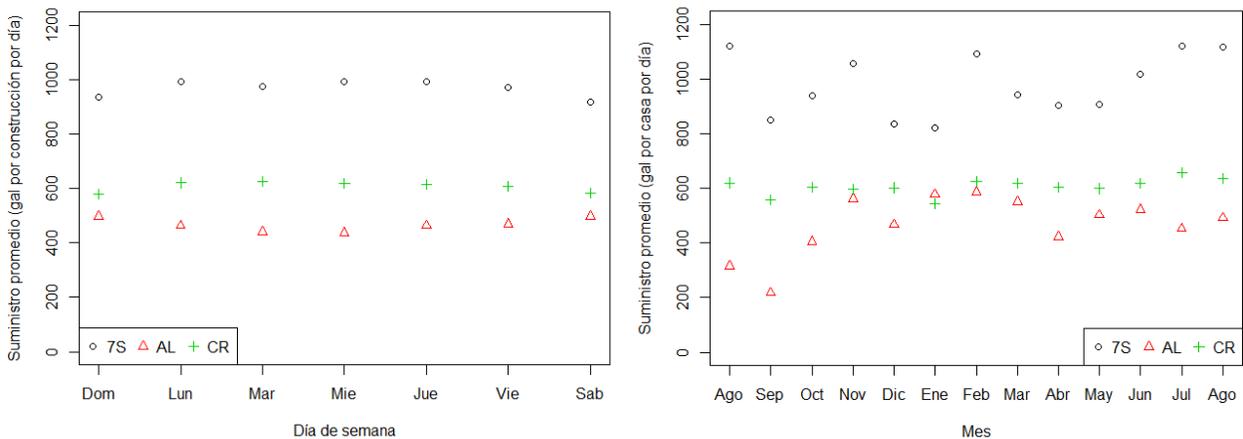


Figura 23. Caudal por construcción promedio para cada día de la semana y cada mes.

8. Análisis de roturas

8.1. Métodos

Para investigar si había una relación entre la frecuencia de roturas y el suministro intermitente, se analizaron los registros de reparación de roturas para la región de Arraiján durante los años 2012, 2013 y 2014. Aunque este registro realmente representa reparaciones en vez de roturas, para este análisis se refiere a cada reparación como una rotura. Cada rotura fue asignada a una zona (un barrio o barriada). Con la base de datos SIG del IDAAN se contabilizó la longitud de tuberías en cada zona. Para calcular la tasa de roturas en cada zona se dividió la cantidad de roturas reparadas por la longitud de tuberías en la zona. Las tuberías con un diámetro menor de 2” y mayor de 12” fueron excluidas del análisis (las de 2” y 12” se incluyeron).⁹⁵ Algunas zonas de Arraiján de las que no se disponía de información de tuberías en la base de datos SIG también fueron excluidas del análisis.⁹⁶ Para caracterizar el suministro (continuo, intermedio o intermitente) de cada zona y la edad aproximada de las tuberías en la zona se consultó el supervisor de campo del IDAAN, quien tiene más de 30 años trabajando con el IDAAN en Arraiján.

8.2. Resultados

La tasa promedio de roturas fue de 1.42 roturas por km por año. En la Figura 24, se observa que las tasas por zona varían mucho. En 54 de las 142 zonas no hubo ninguna rotura registrada durante los 3 años. El Anexo D incluye un resumen de las tasas de rotura en todas las zonas.

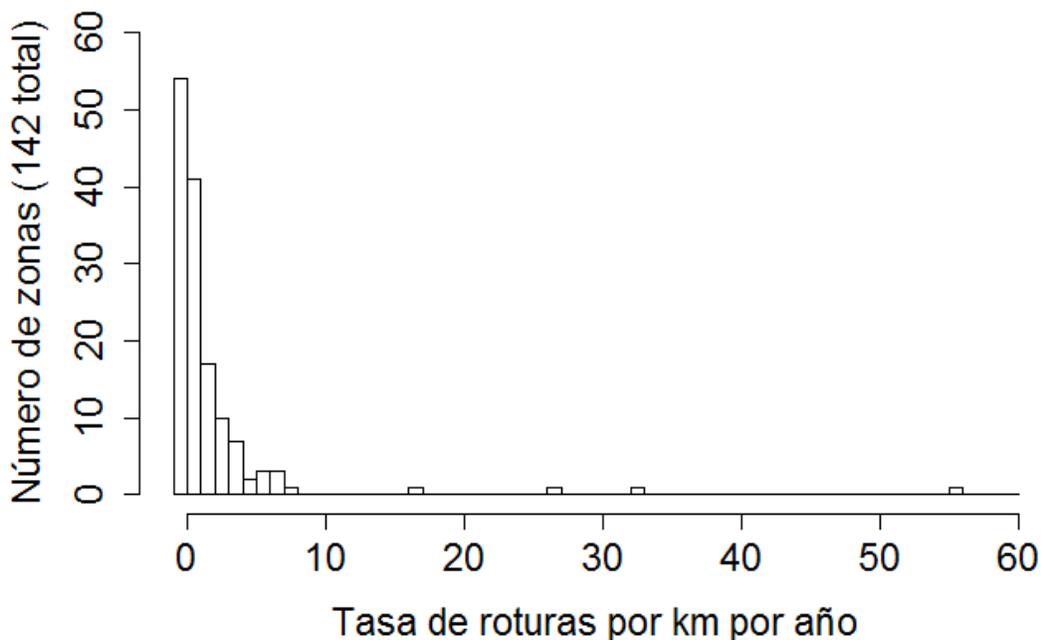


Figura 24. Distribución de las tasas de rotura por cada zona durante los años 2012 a 2014. La barra en el extremo izquierdo representa la cantidad de zonas sin ninguna rotura. La siguiente barra representa la cantidad de zonas que tienen entre cero y una roturas por km al año.

⁹⁵ Las tuberías de diámetro menor no están incluidas en la base de datos SIG. Las tuberías de diámetro mayor normalmente son de conducción y el régimen de presión de esas tuberías no está muy relacionado con el régimen de suministro en las zonas por donde pasan.

⁹⁶ Estas zonas excluidas incluyeron Veracruz, Howard, Cocoli, Rodman, Nuevo Emperador, Santa Clara, Chapala y Cerro Tigre.

Para su análisis, las zonas se dividieron entre zonas con una tasa de roturas mayor de 4 roturas por km al año y las otras con tasas menores. La Tabla 11 especifica las zonas con tasas de rotura mayor de 4 por km al año. Algunas roturas fueron fraccionadas entre múltiples zonas cuando la dirección no fue suficientemente específica para saber en cual de las zonas ocurrió la rotura. También, algunas roturas donde no se sabía el diámetro solo fueron contadas como 0.61 rotura, la porción de todas las roturas que fue de 2" o mayor. El 26% de todas las roturas ocurrieron en estas 13 zonas, aun cuando sólo tienen 3.8% de las tuberías. Algunas pequeñas zonas (Altos del Chumical y Barriada Alto de la Torre), probablemente, tienen una alta tasa de roturas porque el registro de la longitud de las tuberías es bajo en la base de datos SIG para esas zonas. Las tasas calculadas para esas zonas probablemente son mayores que las reales, porque hay tuberías que no están registradas en la base de datos SIG o porque algunas roturas cercanas a la zona fueron clasificadas dentro de la zona. De las 51 roturas en Las Acacias, 39 fueron en la tubería de 6" que conduce agua desde la EB-VB hasta VB. Aunque la misma zona VB no tenía una tasa de roturas mayor de 4, hubo 20 roturas adicionales en la misma tubería de 6" dentro de VB. Esa tubería se rompe de manera frecuente, probablemente, debido a presiones transitorias por el bombeo intermitente. La Barriada 28 de Noviembre, con la tercera tasa de roturas más alta, también tiene una bomba con problemas de golpe de ariete.

Tabla 11. Zonas con una tasa de roturas mayor de 4 roturas por km por año. Suministro "continuo" significa que la zona sólo pierde el suministro cuando una gran parte de Arraiján está sin agua; "intermitente" significa que la zona regularmente está sin agua; e "intermedio" significa que la zona normalmente tiene un suministro continuo, pero es vulnerable a perder el suministro cuando hay poca presión en la red matriz.

Zona	Longitud de tubería (km)	Número de roturas	Roturas por km por año	Edad (años)	Suministro
ALTOS DE CHUMICAL	0.07	12	55.57	10 a 25	Continuo
LAS ACACIAS	0.52	51	32.69	10 a 25	Intermedio
BARRIADA 28 NOVIEMBRE	1.50	119	26.36	< 10	Intermedio
SAN AGUSTIN (P)	0.44	22	16.77	> 25	Continuo
URBANIZACION LA ALAMEDA	1.35	30	7.41	< 10	Intermitente
LOS CERRITOS	0.88	18	6.85	10 a 25	Intermitente
BARRIADA ALTO DE LA TORRE	0.20	4	6.68	> 25	Continuo
EL VALLE DE LAS ROSAS	2.64	49.8	6.28	10 a 25	Continuo
CACERES	3.08	54.6	5.91	10 a 25	Continuo
URB. PARQUE DEL OESTE	0.42	7	5.52	< 10	Continuo
SAN VICENTE DE BIQUE	2.45	37.6	5.13	10 a 25	Continuo
LA CONSTANCIA	0.46	6.6	4.78	10 a 25	Continuo
BRISAS DEL CHUMICAL	0.66	8	4.04	10 a 25	Continuo

La Tabla 12 compara las características de las zonas para cada categoría de la tasa de roturas. Aunque los suministros de tipo intermitente e intermedio son un poco más comunes en las zonas con una mayor tasa de roturas, la diferencia no es significativa dado la pequeña cantidad de esas zonas.

Tabla 12. Distribución de cada categoría de tasa de roturas según parámetros operativos. (Para la explicación sobre las categorías del suministro, ver el pie de la Tabla 11)

Tasa de Roturas / (km *año)		Total	Suministro			Edad (años)		
			Continuo	Intermedio	Intermitente	<10	10-25	>25
>4	Zonas	13	9	2	2	3	8	2
	% de Zonas	100%	69%	15%	15%	23%	62%	15%
<4	Zonas	129	105	16	8	37	77	15
	% de Zonas	100%	81%	12%	6%	29%	60%	12%

Aunque no se identificó una relación general entre el suministro intermitente y las tasas de roturas, hay que destacar que algunas zonas tienen una tasa de roturas mucho mayor; a veces, esto es debido a problemas ya identificados, como el arranque y el apagado de las estaciones de bombeo de VB y 28 de Noviembre. En estos casos en particular, probablemente, la inclusión de estructuras anti golpe de ariete pueda ser más económica y más conveniente para la operación de la red. Las dos zonas estudiadas donde el suministro intermitente se controla por el cierre de válvulas también estaban entre las zonas con mayores tasas de roturas. AL tenía 7.41 roturas por km por año, mayor que 96% de las zonas, y Las Nubes tenía una tasa de 1.71, mayor que 77% de las zonas. Sin embargo, en estas zonas, las roturas se podrían deber también a la calidad de instalación de las tuberías. Por ejemplo, en AL hubo muchas roturas donde el tubo principal hace un paso aéreo para cruzar una quebrada, una instalación hecha por la misma comunidad.

9. Comentarios sobre el trabajo operativo de las zonas de estudio

9.1. Generalidades

La intención de este proyecto no fue el estudio sistemático del manejo de la red de agua potable de Arraiján por el IDAAN. Sin embargo, durante los cientos de horas que el consultor de campo pasó en las oficinas e instalaciones del IDAAN y en las zonas de Arraiján afectadas por el suministro deficiente, hubo muchas oportunidades para observar el trabajo de los operadores de la red y conversar con ellos informalmente sobre cómo operan la red y con los usuarios sobre su experiencia como clientes del IDAAN. De esas observaciones y conversaciones, en combinación con el monitoreo hidráulico y de calidad del agua que se hizo, salieron algunas recomendaciones sobre oportunidades que tiene el IDAAN para mejorar el servicio que da a sus clientes.

A continuación, se relatan algunos sucesos que ocurrieron durante el proyecto, en las mismas zonas de investigación, los cuales motivaron a algunas de las recomendaciones de la Sección 10. Es importante resaltar que estas observaciones son de algunas de las zonas de Arraiján donde el trabajo del IDAAN es más difícil, así que no son representativas de la situación de Arraiján en general.

9.2. Vista Bella

El sector de Vista Bella (VB) tiene una larga historia de un suministro deficiente. Hace aproximadamente 10 años se instaló una nueva estación de bombeo (EB-VB) que manda agua directamente a este sector por una tubería de conducción de 6". Esta nueva estación de bombeo mejoró el suministro en VB, llevando agua potable del IDAAN a muchos usuarios que antes se abastecían con agua de pozos locales o camiones cisterna. Sin embargo, el bombeo se operaba intermitentemente porque, a veces, su tanque de succión se vaciaba. Las partes más alejadas de VB aún no recibían agua por tubería y la mayor parte de VB sólo tenía suministro cuando la estación de bombeo estaba encendida. La línea de conducción de PVC de 6" también sufría roturas frecuentes, probablemente, debido a golpes de ariete (observados en la Sección 5.2.3.) provocados por el frecuente arranque y apagado de la bomba.

Durante 2014, algunos usuarios de VB empezaron a quejarse porque empeoró el suministro en su área. El 21 de julio, unos residentes de VB cerraron, durante dos horas de la mañana en las horas pico del tráfico, un tramo de un carril de la carretera Interamericana en dirección a la ciudad de Panamá para protestar por la situación.⁹⁷ Usuarios de VB y personal del IDAAN se reunieron con la Defensoría del Pueblo para resolver el problema. Personal del IDAAN sospechaba que EB-VB estaba mandando menos agua a VB, porque recientemente se había aumentado la capacidad de la estación de bombeo de Talamanca, estación que succionaba agua de la misma tubería.⁹⁸ Para investigar esta hipótesis, se reunieron algunos de los datos del monitoreo continuo de presión y caudal que fueron recabados como parte de la fase preliminar de este proyecto. Estos datos mostraron que durante 32 días de monitoreo en los meses de junio y julio, el bombeo estuvo encendido sólo 46% del tiempo; pero, durante 22 días de monitoreo en febrero y marzo, el bombeo

⁹⁷ Castillo, Pablo. "Moradores de Vista Bella de Arraiján protestan por agua." La Crítica. 22 de julio de 2014.

⁹⁸ La estación de bombeo de Talamanca fue aumentado para mejorar el suministro en otro sector donde los vecinos también habían realizado cierres de calle para protestar por la falta de suministro.

estuvo prendido 78% del tiempo. El Subgerente de Operaciones del IDAAN en Arraiján, que asistió a la reunión con los usuarios y la Defensoría del Pueblo, dijo que fue útil poder presentar estos en la reunión. Para mejorar la situación de VB, el IDAAN hizo una interconexión aguas arriba para aumentar el caudal de agua que llega a la estación de bombeo de VB e instaló una segunda bomba en la estación. El suministro en VB mejoró significativamente. Como se mostró en la Sección 5.2.1, durante el año de monitoreo para este estudio, este después de las mejoras a EB-VB, por lo menos una bomba de EB-VB estaba encendida 87% del tiempo y frecuentemente dos bombas estaban encendidas.

Por un lado, ésta es una historia de éxito, en la cual el IDAAN mejoró poco a poco el suministro en VB en respuesta a las demandas de los usuarios. Pero, por otro lado, estas mejoras deberían surgir preferiblemente de un análisis y de medidas proactivas, en vez de salir de medidas de emergencia tomadas para resolver una crisis y responder a las protestas de los usuarios. Un cierre de carretera de esa magnitud tiene un alto costo si se toma en cuenta el tiempo perdido por las autoridades y una gran parte de las 200,000 personas que viajan diariamente de Panamá Oeste a la ciudad de Panamá.⁹⁹ El costo de esta crisis se habría evitado si el IDAAN hubiera tenido: los datos hidráulicos que mostraban que el bombeo de VB estaba trabajando menos horas; la capacidad para analizar estos datos, preventivamente, y darse cuenta de ello; y la capacidad para realizar las mejoras físicas proactivas para ampliar el caudal de agua que llega a la estación de bombeo y aumentar la capacidad de la bomba. En un escenario aún mejor, el IDAAN debería haber tenido suficiente información sobre la configuración de la red y suficiente capacidad analítica para anticipar que la ampliación del bombeo de Talamanca iba a afectar el suministro en VB.

El IDAAN también podría aprovechar la comunicación con los usuarios para evitar este tipo de crisis. Aun con un mayor monitoreo y análisis no va a ser posible anticipar o detectar cada problema que ocurra en una red tan compleja como la de Arraiján; pero, se podría aprovechar una comunicación fluida con los usuarios para identificar los problemas antes de que ellos tomen medidas de protesta. Con el Centro de Atención Ciudadana 311, una plataforma de internet y teléfono que los panameños pueden usar para mandar quejas, sugerencias y denuncias sobre diferentes servicios públicos, el IDAAN está mejorando su habilidad de responder a las quejas y la información de los usuarios. Pero en un ambiente donde hay muchas quejas y capacidad limitada para investigar o resolverlas, algunas de éstas se convierten en crisis antes de que el IDAAN pueda solucionarlas. Tal vez, en áreas como VB con problemas crónicos, los operadores del IDAAN podrían establecer líneas de comunicación con líderes confiables de la comunidad. Para que esta comunicación funcione bien, los líderes comunitarios tendrían que comprometerse en no exagerar los problemas del suministro y el IDAAN tendría que comprometerse en investigar las alertas de los líderes. Para que estas vías de comunicación funcionen bien, los usuarios tienen que ver que el IDAAN responda a sus quejas verdaderas.

Ocho meses después de mejorar el suministro de agua en VB con la interconexión y la segunda bomba, una de las bombas de EB-VB falló y la estación de bombeo estuvo trabajando con una sola bomba durante 14 días. Los operadores del IDAAN no se dieron cuenta, porque cuando revisaban

⁹⁹ Si el cierre retrasa a 50,000 de estas personas durante sólo 15 minutos y su tiempo se valora en B/. 3 por hora, resulta una pérdida de B/. 37,500.

la estación de bombeo diariamente sólo se acercaban para escuchar si funcionaba y no fue fácil distinguir si una o las dos bombas estaban funcionando. Aun si vieron que una sola bomba estaba funcionando cuando pasaron a revisar, pudieron haber pensado que la segunda bomba funcionaba en otro momento. Finalmente, varios vecinos de VB llegaron al IDAAN para quejarse y el IDAAN se comprometió a investigar. Al revisar los datos de monitoreo continuo de EB-VB, se dio cuenta que la segunda bomba tenía varios días sin encender. Electromecánicos del IDAAN revisaron la bomba y encontraron y repararon la falla. En este caso, gracias a la provechosa comunicación entre el IDAAN y los usuarios, los electromecánicos probablemente hubieran encontrado la falla aun sin los datos del monitoreo continuo de este proyecto. Sin embargo, los datos ayudaron a diagnosticar el problema más rápidamente; y si alguien hubiera estado revisando los datos periódicamente o hubiera habido una alarma en el programa de monitoreo para alertar al operador cuando la bomba tuviera cierto tiempo sin funcionar, es posible que se hubiera dado cuenta de la falla en la bomba antes de que ésta tuviera 14 días sin trabajar.

Desafortunadamente, después de que la segunda bomba fue reparada un jueves, el bombeo de VB tuvo una falla eléctrica el siguiente sábado y, entre las 3 pm del sábado y la mañana del lunes, sólo estuvo prendida durante 45 minutos. El IDAAN no se percató porque el electromecánico de turno del fin de semana no se dio cuenta del problema. Probablemente, él pasó por la estación de bombeo el domingo por la mañana, vio que estaba apagada y la arrancó, pero no se dio cuenta de que paró solo 45 minutos después. Antes de que el IDAAN pudiera responder, los vecinos de VB cerraron la Carretera Interamericana el lunes por la mañana.¹⁰⁰ Esta situación se podría haber evitado con un monitoreo continuo del bombeo y una alarma o una frecuente revisión de los datos o una mejor comunicación con los usuarios.

9.3. La Alameda

La Alameda fue el sector de estudio con el suministro más deficiente. Aunque el plan operativo del IDAAN para este sector de tres días con agua y tres días sin agua no es un suministro ideal, por lo menos es un horario predecible y los usuarios pueden adaptar el almacenamiento y uso del agua según ese horario. Sin embargo, durante el estudio se vio que el suministro real se desvió bastante del plan operativo, por varias razones:

- Como AL está un poco alejada de las oficinas del IDAAN, hubo días en que el operador no tuvo tiempo de abrir o cerrar la válvula según el horario establecido, a causa de otra crisis o compromiso.
- A veces, los operadores de turno del fin de semana no abrían o cerraban la válvula porque desconocían el horario.
- Como varios operadores compartían la responsabilidad de abrir y cerrar la válvula, a veces, un operador no estaba seguro si la válvula estaba abierta o cerrada. Se hizo un intento de llevar una bitácora de la operación de la válvula, pero hubo ocasiones en que la bitácora tenía espacios en blanco, especialmente los fines de semana.
- La tubería principal que abastece a AL presentó cinco roturas durante los 12 meses del

¹⁰⁰ “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.

estudio. Con la tubería rota nadie tuvo suministro en el sector y toda el agua que entraba a éste se escapó por la rotura. En ocasiones, los operadores no se daban cuenta de la rotura por más de un día. Cuando se daban cuenta de la rotura, a veces, no podían repararla por varios días. En una ocasión, el tubo se rompió un viernes por la mañana, y el IDAAN no llegó hasta el siguiente lunes para cerrar la válvula (según su horario operativo normal), parar la fuga y reparar el tubo. Como el IDAAN estaba ocupado esa semana atendiendo otras crisis en la red, la válvula quedó cerrada hasta el sábado, dejando a los residentes de AL sin agua, ni de tubería ni de carro cisterna, por 8 días.

Igual que en VB, se puede ver que un monitoreo de la situación hidráulica por telemetría, junto con la capacidad de monitorear y analizar los datos, la capacidad para responder con medidas operativas y una buena comunicación con los usuarios podrían mejorar el servicio brindado por el IDAAN en AL.

10. Discusión y Conclusiones

10.1. Condiciones en la red de distribución de Arraiján bajo un suministro intermitente

10.1.1. Horario del suministro intermitente

El uso del monitoreo de presión continuo permitió caracterizar con detalle el horario del suministro por un año en las cuatro zonas de estudio. Encontramos que el agua era bombeada hacia VB durante 87% del tiempo, las partes más altas de 7S tenían suministro en 83% del tiempo, AL tenía suministro durante 57% del tiempo, y CR tenía suministro 99.1% del tiempo.

En ninguna de las tres zonas intermitentes había un horario de suministro confiable. En 7S y VB el agua iba y venía sin control según el nivel del Tanque del Millón (7S) o el estado de EB-VB (VB). AL tiene un horario de suministro programado de 3 días con agua y 3 días sin agua, pero muchas veces este horario no se cumplía y los usuarios no estaban seguros cuando iba a llegar el agua.

Muchos usuarios sufrían de interrupciones largas e imprevistas. En AL, por ejemplo, hubo tres interrupciones de suministro de más de 6 días, con el más largo de 8.2 días. Para los usuarios que sólo esperan estar sin agua durante 3 días consecutivos, estas interrupciones largas e imprevistas son muy problemáticas, especialmente porque los usuarios en AL no tienen otra fuente de agua aparte de las fuentes superficiales locales que están contaminadas y el acarreo de agua desde otro sector por sus propios medios. Aun en las partes de Arraiján donde el suministro es casi continuo, hay interrupciones por grandes roturas o por paros de las plantas potabilizadoras. En CR, por ejemplo, durante el año del estudio hubo cuatro interrupciones que duraron más de 9 horas.

En casos como AL en donde no es inmediatamente factible el tener un suministro continuo, se puede mejorar el suministro intermitente implementando un horario más confiable y previsible. En otro estudio en la India, se vio que aun sin lograr un suministro continuo, se puede mejorar el servicio desde el punto de vista de los usuarios si el agua llega con mejor puntualidad, con mayor frecuencia, durante más tiempo y con mejor calidad.¹⁰¹ En situaciones como 7S y VB, donde el suministro es menos intermitente, la mejor estrategia para mejorar el servicio es reducir las pérdidas de agua y evitar las crisis operativas para cambiarse a un suministro más continuo.

10.1.2. Calidad del agua

Con muy pocas excepciones, las muestras puntuales rutinarias (las que se tomaron durante suministro normal) de las zonas intermitentes y la zona continua estaban dentro de las normas panameñas COPANIT para turbiedad, coliformes totales y *E. coli*. El 38% de las muestras estaba debajo de la norma COPANIT de 0.8 mg/L de cloro libre residual, pero todas tenían por lo menos 0.3 mg/L y así cumplían con la recomendación de la Organización Mundial de la Salud que agua en la red de distribución debe tener por lo menos 0.2 mg/L.¹⁰² Los resultados del muestreo puntual rutinario fueron similares a los resultados del muestreo puntual que el IDAAN realizó en la misma parte de la red de Arraiján durante los mismos meses. Tanto el monitoreo continuo como el muestreo puntual rutinario mostraron que, aparte de la primera descarga (cuando el suministro

¹⁰¹ Burt, Z., VanGordon, M., and Vij, A. “Continuous Piped Water or Improved Intermittency? Willingness to Pay for Improved Piped Water Services in Hubli-Dharwad, India”.

¹⁰² World Health Organization. 2011. “Guidelines for drinking water quality, fourth edition.”

empieza después de una interrupción), el IDAAN mantenía constantemente una concentración de cloro libre residual en las zonas de estudio. El hecho de que el cloro no degradó mucho desde las salidas de las plantas potabilizadoras hasta las zonas de estudio se podría deber a que, por la poca capacidad de conducción, distribución y almacenamiento en la red, el agua no demora mucho tiempo en llegar a las zonas de estudio. Sin embargo, los resultados del muestreo del IDAAN en otras partes de la red de Arraján indican que hay otras áreas donde a veces no hay suficiente residuo de cloro.

Algunas muestras tomadas durante los eventos de la primera descarga estaban fuera de las normas panameñas para *E. coli*, coliformes totales y turbiedad. Durante cuatro de los 33 eventos, había una o más muestras positivas para *E. coli*. Con la excepción de un evento cuando había coliformes totales durante los primeros 45 minutos de suministro, los coliformes y *E. coli* siempre se encontraban durante los primeros 20 minutos del suministro, probablemente porque después de este tiempo la contaminación que podría haber infiltrado o crecido dentro de las tuberías durante la interrupción de suministro ya se había lavado de la red. Aunque el periodo de tiempo que la calidad de agua demora en normalizarse será diferente en cada caso, los resultados muestran que los usuarios pueden reducir el riesgo de consumir agua contaminada si evitan el consumo del agua de la primera descarga. En algunas ocasiones después de las roturas y la reparación de las tuberías, en el muestreo rutinario y del primer lavado, se encontró agua con alta turbiedad, lo cual indica la necesidad de mejorar las prácticas de reparación.

Con el monitoreo continuo, se encontraron presiones bajas y negativas que representan riesgos para la intrusión de agua subterránea en las tuberías y el reflujo por grifos domiciliarios. Obviamente, había presiones bajas en las zonas intermitentes cuando no había suministro. Pero en un punto alto por la entrada de la zona AL se midieron presiones negativas prolongadas aun cuando había suministro, y se midieron algunas presiones negativas transitorias por el arranque de la estación de bombeo de VB. También, durante el muestreo del primer lavado en Las Nubes se identificaron presiones negativas en los grifos domiciliarios durante los minutos después de que el suministro terminó, las cuales podrían provocar el reflujo de agua contaminada por las mangueras que los usuarios usan para llenar sus tanques de almacenamiento.

A pesar de los riesgos identificados, se encontró una baja incidencia de turbiedad, coliformes y *E. coli* en las muestras de calidad de agua, especialmente en las muestras rutinarias. La baja incidencia de contaminación, especialmente comparada con los resultados del estudio en Hubli-Dharwad, India,¹⁰³ se podría deber al cloro residual constante en las zonas de estudio y menos fuentes de contaminación. Hubli-Dharwad, tenía tuberías más antiguas, un nivel de cloro residual menor, una mayor densidad de población y un saneamiento adecuado escaso (drenajes sanitarios abiertos y sin revestimiento, letrinas y drenajes cerca de las tuberías de agua potable). Las zonas de estudio en Arraján no tenían alcantarillado sanitario y la mayoría de las letrinas y tanques sépticos estaban ubicados atrás de las casas, lejos de las tuberías de agua potable. Aunque son indicadores tradicionales para la calidad de agua en la red de distribución, cabe notar que los coliformes totales y el *E. coli* no son indicadores perfectos. Por un lado, los coliformes totales y *E. coli* son más

¹⁰³ Kumpel E., Nelson K.L. 2013. Comparing microbial water quality in an intermittent and continuous piped water supply.

vulnerables a la desinfección con cloro que algunos patógenos que pueden contaminar el agua potable (por ejemplo, ooquistes de *Cryptosporidium*). Así que es posible que si bacterias coliformes y otros organismos patogénicos ingresaron a la red durante un evento de intrusión, los otros organismos patogénicos podrían haber persistido aunque los coliformes fueron inactivados por el residuo de cloro. Por otro lado, aunque el *E. coli* es muy relacionado con la contaminación fecal y su presencia indica que el agua no es apto para el consumo humano, los coliformes totales pueden venir de fuentes ambientales como el suelo y no necesariamente indican contaminación fecal. La presencia de coliformes totales puede indicar falta de residuo de cloro, crecimiento bacteriológico en las tuberías y/o fallas sanitarias en la red de distribución, pero su presencia en una pequeña porción de muestras de una red de distribución no necesariamente significa que haya contaminación fecal o que el agua de esa red no sea apto para el consumo humano.¹⁰⁴ Los resultados indican que la calidad del agua en Arraiján es mejor que en algunos otros sistemas intermitentes, pero no niegan el hecho de que el suministro intermitente y las presiones que se encontraron presentan un riesgo para la calidad del agua.

En el caso del agua almacenada en los domicilios, un 10% de las muestras resultaron positivas para *E. coli* y 26% tuvieron una concentración de coliformes totales por encima de 10 NMP por 100 mL, la norma panameña para agua no distribuida por tubería.¹⁰⁵ Una parte de esta contaminación podría haber venido con el mismo agua potable si los usuarios almacenaron agua de la primera descarga, pero, considerando que la presencia de coliformes totales fue del orden del 5% en las muestras de primera descarga tomadas en la red, la mayoría se debe haber originado durante el almacenamiento domiciliar, particularmente en el caso de usuarios que almacenan su agua en tanques con bocas anchas y sacan el agua con vasijas en vez de verterla. La mayoría de las muestras con *E. coli* fueron de AL, la zona con el suministro más intermitente y también la zona en donde menos usuarios practicaban un almacenamiento seguro.

10.1.3. Cantidad de suministro y pérdidas

Las mediciones de caudal mostraron que el caudal promedio entrante en cada zona es alta en comparación con el consumo facturado y el consumo medido donde hay medidores. El caudal entrante estimado de 948 galones por construcción (casa o negocio) por día para la zona 7S fue particularmente alto comparado con 586 y 467 galones en CR y AL respectivamente. Esto, junto con el hecho de que los clientes medidos en 7S tienen menor consumo por cliente que los de CR y el mayor número de personas por casa en CR comparado con 7S, indica la posibilidad de una gran fuga no visible en 7S. Durante las horas nocturnas, cuando no debe haber mucho consumo, el caudal entrante en las tres zonas analizadas bajó muy poco, indicando pérdidas significativas de agua debido a las fugas en la red del IDAAN y en las tuberías dentro de los domicilios. Durante el mes de julio de 2015, el consumo facturado en 7S y CR fue sólo 25% y 61% de la cantidad de agua que entró a la respectiva zona. La diferencia entre las dos zonas en la fracción de agua facturada probablemente se debe a mayores pérdidas físicas en 7S, no a más facturación de agua en CR.

¹⁰⁴ World Health Organization. 2011. "Guidelines for drinking water quality, fourth edition."

¹⁰⁵ Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. "Agua Potable. Definiciones y Requisitos Generales."

Los resultados de las tres zonas analizadas están de acuerdo con el patrón general de Arraiján: aproximadamente la mitad del agua que entra a la red de distribución no se factura. Los resultados indican que ocurren muchas pérdidas en las redes de distribución locales (entre la entrada de la zona de estudio y el micromedidor). El gran caudal entrante a 7S sugiere que el IDAAN podría eliminar muchas pérdidas de agua enfocándose en algunas zonas como ésta, en donde la tasa de pérdidas es muy alta.

10.1.4. El suministro intermitente y las roturas

En el caso de VB, el bombeo intermitente estuvo asociado con las presiones extremas (altas y negativas) y muchas roturas en la tubería que sale de EB-VB. A pesar de este ejemplo y otras zonas con suministro intermitente y altas tasas de roturas como AL y la Barriada 28 de Noviembre (donde hay bombeo intermitente), no se encontró una fuerte relación general entre el suministro intermitente y las roturas. Independientemente del suministro intermitente, gracias a los registros de reparaciones que el IDAAN lleva, se pudo ver que hay algunas zonas de Arraiján donde la tasa de roturas es mucho más alta que el promedio. Es probable que el IDAAN pudiera reducir el número de roturas y mejorar su servicio investigando y mitigando las causas de las roturas en esas zonas.

10.2. Utilidad de diferentes métodos de monitoreo

Este proyecto fue una oportunidad para evaluar la utilidad de varios métodos de monitoreo en una red de distribución intermitente.

Resultados del monitoreo continuo de presión y caudal mostraron que estos métodos se pueden usar para: evaluar el horario de suministro que los usuarios reciben; identificar presiones extremas (altas y negativas) que pueden dañar las tuberías y son un riesgo para la calidad del agua; detectar roturas; e identificar áreas de la red de distribución donde el caudal entrante es mayor de lo que se esperaría. Los equipos ECO RTU eran confiables para la transmisión de datos y las medidas periódicas de presión, pero podrían haber grabado algunas presiones transitorias que realmente no ocurrieron. Los caudalímetros Seametrics de bajo costo que se usaron no son diseñados para ser muy precisos, pero fueron suficientemente precisos para hacer comparaciones aproximadas entre el consumo facturado y el caudal entrante en las diferentes zonas de estudio.

El monitoreo continuo de la turbiedad y el cloro residual libre en Arraiján fue útil para esta investigación, pero no se recomienda para el monitoreo rutinario en estas zonas de estudio, dado que, aparte de los eventos de la primera descarga, estas zonas no presentan problemas con cloro y turbiedad, y el monitoreo continuo de turbiedad y cloro no siempre produjo datos confiables durante los eventos de la primera descarga. Sin embargo, hay partes de la red de Arraiján con concentraciones bajas de cloro, y el monitoreo continuo podría ser útil en esas zonas.

Como se esperaba, el muestreo puntual de la primera descarga y el agua almacenada identificó problemas de calidad de agua que el muestreo rutinario no identificó. El muestreo puntual rutinario es una buena herramienta para evaluar la calidad del agua durante condiciones normales, y es representativo del agua que se consumiría un usuario quien evita el agua de la primera descarga y practica el almacenamiento seguro. Para estos propósitos, el muestreo rutinario que el IDAAN ya hace parece ser suficiente, pero para que refleje la variedad de situaciones que se encuentran en la

red, el IDAAN debe incluir más zonas con suministro intermitente en sus puntos de muestreo mensual. El muestreo de la primera descarga podría ayudar a identificar partes de la red o condiciones de suministro asociadas con un mayor riesgo para la intrusión. El muestreo del agua almacenada se podría usar para evaluar la eficacia de los métodos de almacenamiento domiciliar actuales para proteger la calidad de agua, y como se podrían mejorar.

10.3. Recomendaciones específicas con respecto a las zonas intermitentes de estudio

Cada una de las tres zonas de estudio intermitentes es afectada por tres problemas: 1) Por los altos niveles de pérdidas, el balance del suministro en la red de Arraiján y particularmente en el área de Arraiján Cabecera y Burunga es insuficiente para mantener un suministro confiable; 2) Las crisis, como son las grandes roturas y los paros de las plantas potabilizadoras, ocurren frecuentemente en la red de Arraiján y alteran el balance en el suministro, dejando a estas zonas vulnerables sin agua; y 3) Los problemas o las deficiencias en la distribución local de cada zona (muchas pérdidas en 7S, bombeo no confiable y roturas en VB, y capacidad de distribución deficiente y roturas en AL) hacen que el servicio sea aún menos confiable. A continuación se proponen algunas medidas para mejorar el servicio en las tres zonas de estudio intermitentes, aparte de la necesidad general de prevenir las crisis y reducir las pérdidas para mejorar el balance en el suministro.

10.3.1. 7 de Septiembre

Tomando en cuenta la gran cantidad de agua que aparentemente se pierde debido a fugas dentro de este sector, la reducción de las pérdidas de agua dentro del sector deberá ser parte integrante de acciones tendientes a dar continuidad al suministro.

10.3.2. Alameda

Si no se mejora el balance de agua en la zona y la capacidad de la estación de bombeo que bombea agua hacía AL, será difícil lograr allí un suministro continuo. Afortunadamente, los proyectos que están actualmente en ejecución en el sector de Burunga están diseñados para mejorar el suministro en la zona. Por mientras, aun con el horario de “3 días con agua, 3 días sin agua” se podría establecer un suministro más conveniente para los usuarios al mantener un horario confiable para la apertura y el cierre de la válvula que controla el sector. Si los usuarios saben exactamente qué día y a qué hora va a llegar el agua, pueden programar mejor su consumo y almacenamiento. Para promover un horario más confiable, se debe llevar una bitácora de las operaciones de la válvula. Un supervisor del operador que abre y cierre la válvula debe llevar un control de la bitácora para asegurar que el horario se cumpla, especialmente durante el tiempo cuando el operador normal no está. Para mantener un horario confiable también es necesario reducir la demora para detectar y reparar las roturas en la zona. El monitoreo de presión con telemetría y/o una mejor comunicación con los usuarios podría facilitar la detección rápida de las roturas.

Con la infraestructura actual es difícil evitar las presiones negativas en la entrada de AL; pero, después de poner a funcionar las mejoras de almacenamiento y conducción en el sector de Burunga, debe ser una prioridad hacer más monitoreo de presión para asegurarse que hayan resuelto ese problema.

10.3.3. Vista Bella

Los paros de la estación de bombeo que bombea directamente a la red de VB causan interrupciones de suministro y roturas en la línea que conduce agua a la zona. Para evitar interrupciones en el suministro se debe analizar la posibilidad de construir un tanque de reserva adonde llegaría toda el agua proveniente de la estación de bombeo antes de distribuirse a VB. Independientemente de definir la necesidad de construir un tanque de reserva, se podría reducir la duración de los paros con un sensor de presión en la descarga de la estación de bombeo con telemetría, para alertar a los operadores cuando las bombas se paran y hay que arrancarlas. Para proteger la línea de conducción de presiones transitorias, el IDAAN debe instalar estructuras anti golpe de ariete después de la estación de bombeo.

10.4. Recomendaciones generales

Con base en los resultados de este estudio, se hacen varias recomendaciones al IDAAN para mejorar la operación de la red de distribución de Arraiján, con el fin de proveer un mejor suministro a los usuarios. Específicamente, las metas de estas recomendaciones son 1) reducir los efectos negativos del suministro intermitente donde no se puede lograr un suministro continuo ahora, 2) hacer el suministro más continuo donde se puede, y 3) mejorar la eficiencia general de la operación de la red.

Cabe resaltar que por planificación y decisiones independientes de este proyecto, el IDAAN ya está en proceso de implementar varias de estas recomendaciones. Aunque estas recomendaciones se hacen con base en observaciones de la red de Arraiján, también se podrían aplicar selectivamente a otras redes de distribución en Panamá y otros países de la región que enfrentan desafíos similares.

10.4.1. Crear una unidad de personal dedicada a la optimización de la red de distribución

El monitoreo y control eficiente de una red de distribución requiere de la disponibilidad de personal calificado y dedicado para mantener los equipos de monitoreo, procesar y analizar los datos provenientes de esos equipos, y diseñar soluciones a los problemas identificados. Esta unidad sería parecida a la Unidad de Control Operativo recomendada por el estudio de Louis Berger Group en 2010 y se podría encargar de la implementación de las recomendaciones 10.4.2 a 10.4.5. Para complementar y no duplicar el trabajo del Departamento de Distribución y Control de Pérdidas en la oficina central del IDAAN, la nueva unidad debe operarse desde la oficina regional de Arraiján, donde puede estar cerca de la red de Arraiján y colaborar más fácilmente con el personal operativo de la región.

10.4.2. Implementar un programa fuerte para la reducción de agua no facturada

Los altos niveles de agua no facturada representan un alto costo para el IDAAN, y contribuyen con un suministro no confiable a pesar de que el caudal de agua entrante a la red de Arraiján debe de ser más que suficiente para abastecer a su población. Para reducir sus costos de producción y mejorar la calidad del suministro que da a sus clientes, el IDAAN debe realizar una inversión significativa en la reducción del agua no facturada. Mientras el suministro se vuelva más continuo, las presiones aumentarán y las zonas intermitentes tendrán agua por una mayor porción del día,

incrementando la pérdida de agua por las fugas.¹⁰⁶ Por eso, mientras el IDAAN va mejorando la continuidad del suministro, es muy importante que trabaje en paralelo para reducir las pérdidas.

Aunque el diseño de un programa para la reducción de pérdidas no cabe dentro del alcance de este proyecto, recomendamos que el programa incluya:

- Personal calificada dedicada a la reducción de pérdidas, como parte de la unidad propuesta en 10.4.1.
- Mejoras al monitoreo hidráulico de la red (10.4.3); a la sectorización de la red (10.4.9); a la micromedición; y a la recolección y análisis de información (10.4.9) para poder cuantificar las pérdidas en diferentes áreas de la red, clasificarlas entre pérdidas físicas (fugas) y comerciales (agua que llega a los clientes pero que no se factura) y monitorear como las tasas de pérdidas cambian tras el tiempo y como resultado de los esfuerzos de la institución para reducirlas.
- El manejo de las presiones en la red para evitar presiones excesivas que aumentan la cantidad de agua que se pierde con las fugas y que pueden causar roturas. Este trabajo ya se empezó con la instalación de válvulas reguladores de presión en diferentes sectores de la red.
- La identificación y reparación de fugas en la red del IDAAN.
- Un esfuerzo para reducir las fugas de agua dentro de las redes domiciliarias de los usuarios y para promover el uso racional del agua por los usuarios. Un estudio del suministro intermitente y las pérdidas de agua en la red de Aguadulce, Panamá encontró que las fugas en los inodoros estaban contribuyendo a la pérdida de agua.¹⁰⁷ Aun cuando el IDAAN mide y cobra el agua que se pierde dentro de los domicilios, la institución puede ahorrar con la reducción de estas pérdidas, porque la tarifa actual no cubre el costo del agua en Arraiján. Este esfuerzo debe incluir una campaña para ayudar a los usuarios reducir las fugas dentro de sus domicilios y cambios a la tarifa para mejor incentivar el uso racional del agua. El consumo mínimo con la tarifa actual es de 6,000 o 8,000 galones por mes. Esto significa que una casa de dos personas no tendrá ningún incentivo económico para consumir menos agua hasta que ya esté consumiendo 100 a 133 galones por persona por día.

10.4.3. Implementar un monitoreo continuo de presión y caudal en puntos críticos de la red

Los resultados de este proyecto comprobaron la utilidad del monitoreo continuo de presión y caudal. Para que sean de máxima utilidad, los equipos deben contar con la capacidad de mandar continuamente los datos a los operadores por telemetría. Este monitoreo es particularmente importante en las estaciones de bombeo y en las áreas de la red donde frecuentemente hay una deficiencia de suministro. Una clave para el proceso de monitoreo es el mantenimiento de los equipos y el procesamiento y análisis de los datos. Un primer paso sería rehabilitar y/o integrar los equipos de monitoreo existentes en la red de Arraiján.

¹⁰⁶ Taylor, D., “Why are drinking water systems run intermittently? A cross-sectional analysis of the IBNET database.” 2015. Water and Health Conference, 26-30 de octubre, 2015. University of North Carolina at Chapel Hill.

¹⁰⁷ Erickson, J. 2011. Mejorando la Continuidad de Servicio en el Sistema de Agua Potable de Capellanía, Coclé, a través de un Programa de Reducción de Pérdidas de Agua. Informe presentado al IDAAN.

10.4.4. Mejorar la comunicación entre el IDAAN y los usuarios en zonas con suministro deficiente
Mientras haya zonas de Arraiján que carezcan de un suministro confiable es importante que el IDAAN mantenga una comunicación abierta con los usuarios en esas zonas. A través de esta comunicación, el IDAAN puede darse cuenta de los problemas del suministro y resolverlos lo más pronto posible.

10.4.5. Mitigar los problemas hidráulicos identificados por este proyecto y monitoreo futuro
El monitoreo continuo de presión identificó algunas presiones negativas y extremas en la red, las cuales podrían causar roturas e intrusiones de agua contaminada. Este proyecto se enfocó sólo en cuatro áreas, así que es probable que el IDAAN podría identificar más problemas puntuales con un mayor monitoreo en el futuro. El análisis de roturas indica que muchas roturas están concentradas en algunas zonas problemáticas de la red. Habría que analizar cada situación individualmente, pero en algunos casos serían probablemente eficaces las estructuras para prevenir los golpes de ariete o válvulas para expulsar el aire. Con la mitigación de los problemas hidráulicos puntuales, el IDAAN podría reducir sus costos de reparación y disminuir las pérdidas de agua y las interrupciones del suministro asociadas con las roturas.

10.4.6. Mantener niveles constantes de cloro libre residual

Sin un estudio comparativo, no es posible saber cómo sería la calidad del agua en las zonas de estudio si el agua tuviera un residuo de cloro menor. Sin embargo, la teoría nos indica que un residuo de cloro puede proporcionar alguna protección contra la contaminación microbiológica debida a un evento de intrusión.¹⁰⁸ La baja incidencia de bacterias coliformes y *E. coli* en las áreas estudiadas se podría deber parcialmente al buen nivel de cloro residual. El IDAAN debe seguir con el mantenimiento de este residuo constante en los sectores donde ya está, como las zonas de estudio, y trabajar para mantener un nivel de cloro más confiable en otros sectores de Arraiján donde a veces está por debajo de 0.2 mg/L. Aunque la norma panameña de 0.8 mg/L de cloro libre residual es más alta que otras normas en la región, es posible que esta norma más alta dé un factor de seguridad que ayude a mantener un residuo de cloro más constante. Por ejemplo, se vio por el monitoreo continuo y el muestreo puntual que, en varias ocasiones, el nivel de cloro residual en una zona estuvo por debajo de 0.8 mg/L, pero, aparte de los eventos de la primera descarga en sólo cuatro ocasiones durante un año de monitoreo continuo la medida de cloro residual estuvo por debajo de 0.3 mg/L. En caso de que el nivel normal fuera menor, eventos con cloro residual debajo de 0.3 mg/L ocurrirían con mayor frecuencia. Una desventaja del cloro residual puede ser la formación de subproductos de desinfección como los trihalometanos (THM). Es importante mantener un buen monitoreo de los THM y otros subproductos de desinfección en la red de distribución para asegurarse de que el residuo de cloro no resulte en concentraciones demasiado altas.¹⁰⁹

¹⁰⁸ LeChevallier, M. W., Xu, M., Yang, J., Teunis, P., & Fleming, K. K. 2011. Managing distribution system low transient pressures for water quality. Denver, Colo: Water Research Foundation.

¹⁰⁹ En concentraciones debajo de 5.0 mg/L, el cloro mismo no se considera una amenaza a la salud (World Health Organization. "Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition, Vol.1," 2004, Geneva), pero el cloro puede dar un sabor y olor desagradable al agua (World Health Organization. "Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies: Measuring chlorine levels in water supplies," 2011). El hecho de que la gran mayoría de los

10.4.7. Modificar las técnicas de reparación para proteger mejor la calidad del agua

El IDAAN debe mejorar sus prácticas de reparación para minimizar la contaminación que originan las roturas y las reparaciones. Cuando es necesario, se debe bombear agua de la excavación para evitar que ésta se inunde durante la reparación. Si es probable que haya habido contaminación durante la reparación, se deben lavar las tuberías para reducir el riesgo de que esta contaminación llegue a los usuarios. Para tales efectos, se debe evaluar la necesidad de instalar más hidrantes y/o purgas en la red.¹¹⁰

10.4.8. Implementar un programa para enseñar a los usuarios evitar el consumo del agua de la primer descarga, evitar el reflujo y evitar la contaminación del agua almacenada en el domicilio

En la mayoría de las casas donde se tomaron muestras de agua almacenada, los usuarios guardaban su agua para beber en recipientes que se llenaban manualmente en vez de tanques de reserva que se llenaban automáticamente, así que podían controlar en que momento llenaban sus recipientes. El riesgo del reflujo se puede reducir con evitar la sumersión de las mangueras que se usan para llenar recipientes. Los usuarios pueden proteger la calidad de su agua almacenada usando recipientes que tienen bocas angostas, los cuales son menos vulnerables a la contaminación. Para tratar estos tres importantes temas, el IDAAN podría elaborar materiales de enseñanza, con los cuales podría realizar una campaña de concientización conjunto con el Ministerio de Salud.

10.4.9. Implementar mejores prácticas para el manejo de una red de distribución

Además de las recomendaciones específicas anteriores que surgieron de este estudio, hay otras buenas prácticas generales que también podrían mejorar la operación de la red de agua potable en Arraiján:

- El mejor manejo de información facilitaría la implementación de las otras recomendaciones anteriores. En muchos casos, el IDAAN ya está registrando datos importantes, pero no lo hace consistentemente o no tiene los datos en una forma que se puede analizar fácilmente. Específicamente, para mejorar sus prácticas el IDAAN podría:
 1. Actualizar la base de datos SIG de la red y hacerla accesible a los operadores y los gerentes regionales. El Departamento de Ingeniería del IDAAN ya está trabajando en un proyecto para que los operadores y los gerentes que más necesitan estos datos los puedan usar.
 2. Incorporar el registro de la reparación de roturas en la base de datos SIG. Personal operativa podría usar un teléfono inteligente para marcar la ubicación geográfica de una rotura, sacar una foto, y notar datos importantes, y estos datos se podrían agregar automáticamente a una base de datos, sin tener que llenar una ficha de papel.
 3. Llevar un registro digital, también actualizada con teléfonos inteligentes, de la operación de válvulas.

usuarios en Arraiján consumen agua potable del IDAAN, sugiere que tal vez el sabor del cloro no disuada el consumo del agua en este caso.

¹¹⁰ Ainsworth, Richard y David Holt. "Precautions during construction and repairs." Capítulo 5 en *Safe Piped Water*. World Health Organization and IWA Publishing, 2004, da recomendaciones sobre cómo evitar y mitigar la contaminación durante las reparaciones.

4. Llevar mejores estadísticas sobre la calidad de prestación de servicio en diferentes sectores de la red, para saber cuáles partes de la red necesitan más atención u optimización. Estas estadísticas se podrían basar en los datos de monitoreo hidráulico y en registros de quejas de los clientes a través del sistema 311.
- Para facilitar el control de la red y para poder medir el caudal entrante a diferentes sectores, el IDAAN debe seguir trabajando en sectorizar la red e instalar o reparar válvulas en puntos importantes. En muchos casos, actualmente, el trabajo del IDAAN se complica por no poder controlar bien la red de distribución. A veces, la cuadrilla tarda tiempo intentando quitar el agua de una zona para reparar una tubería, o tiene que quitar el agua de una gran zona por no tener una válvula de control más local. Muchas de las válvulas de control e hidrantes en la red no son operables, y hay interconexiones entre algunos sectores que hacen imposible aislar un sector de otro.
 - El mantenimiento y reemplazo estratégico de la infraestructura también podría mejorar la operación de la red. Aunque la mayoría de las tuberías en la red de Arraiján no tienen más de 30 años, puede ser que el reemplazo de algunas de las que presentan más roturas, ya sea por su mayor tiempo de uso, material (por ejemplo las tuberías de asbesto-cemento) o instalación inadecuada, reduciría la incidencia de roturas en algunos de los lugares críticos identificados en la Sección 8.2.

10.5. Ahorros significativos y mejoras en el servicio resultarán de mejoras de monitoreo y control

La realización de las recomendaciones antes señaladas tendrá un costo económico significativo, más que todo, en cuanto al personal calificado y los equipos de monitoreo. Pero un mejor monitoreo y control de la red de distribución de Arraiján y la reducción de las fugas de agua podría aportar beneficios muchos más grandes:

- Reducir el costo de agua comprada en bloque. Actualmente el IDAAN gasta aproximadamente B/.9.5 millones por año en la compra de 53% del agua que entra a la red de Arraiján pero que no se factura.
- Evitar inversiones costosas para la ampliación de la capacidad de producción de agua potable en el futuro.
- Mejorar el nivel del suministro que los usuarios reciben, la imagen del IDAAN como institución y, probablemente, la voluntad de pago de los usuarios.

Anexo A. Informe de aislamiento de zonas de estudio

Este informe detalla los resultados de las investigaciones de campo y de las entrevistas con el personal del IDAAN que se hicieron para averiguar si las zonas de estudio estaban aisladas hidráulicamente.

Zona 1: El Cristal (CR)

En esta zona, el único punto que teníamos duda fue la Entrada #1, en donde queríamos comprobar si el tubo de 2" de PVC, en donde se colocó el caudalímetro en la estación de entrada, era el único tubo de entrada a la zona en ese punto. Durante la visita del Ing. Stefan Buss a Arraiján en mayo, excavamos esa área con el personal del IDAAN para buscar otro tubo de 3", pero no lo encontramos. Así que confirmamos que ese tubo de 2" es el único tubo de entrada por ese lugar.

Zona 2: Siete de Septiembre (7S)

En esta zona había dos puntos de duda, de los cuales la base de datos SIG del IDAAN muestra interconexiones con otras zonas, pero el personal del IDAAN dijo que realmente no hay interconexión.

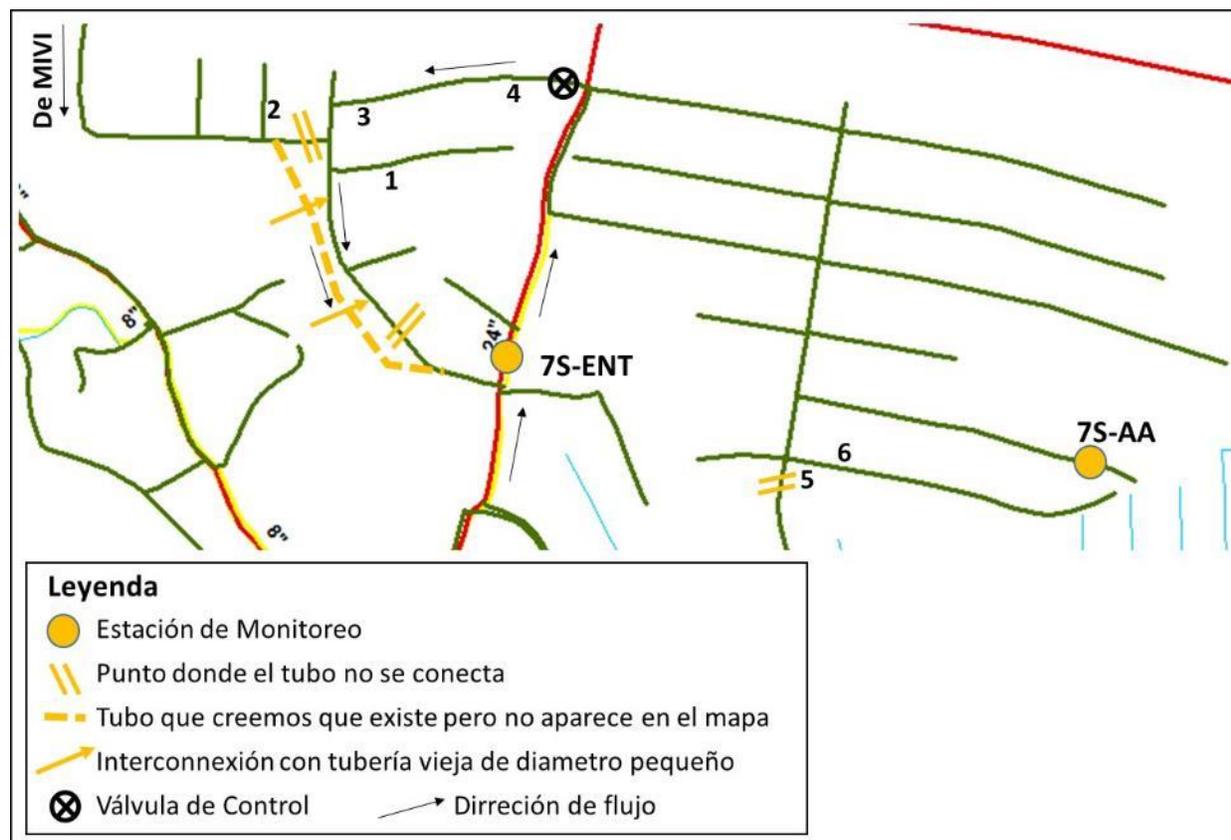


Figura A1. Croquis de 7S.

A. Límite Noroeste

Para averiguar la situación de esta área, se hizo un monitoreo de presión en varios puntos mientras se manipulaba la válvula de control que aparece en la Figura A1. La Figura A2 muestra las mediciones de presión en los Puntos #1, #2, #3 y #4. Se observa que cuando se cerró la válvula, la

presión bajó drásticamente en los Puntos #1, #3 y #4. Esto indica que no hay una conexión directa entre la línea de 6” que viene del MIVI y la línea de 4”, donde están ubicados los Puntos #3 y #4; y que la línea de los Puntos #3 y #4 se alimenta a través de la válvula de control. También se ve que cuando la válvula se cerró, la presión subió en los Puntos 7S-ENT y #2, indicando que estos puntos sí se alimentan de la línea del MIVI. Dadas estas observaciones, parece que la red está configurada como se encuentra dibujada en anaranjado en la Figura A1, con la parte oeste de 7S alimentada a través de la válvula de control y aislada del tubo de 6” que viene del MIVI.

Cabe mencionar también que, cuando se cerró la válvula de control, el suministro no se fue completamente en los Puntos #1, #3 y #4. El personal del IDAAN piensa que probablemente hay una o más conexiones viejas de diámetro menor (< 2”) entre la parte oeste de 7S y la antigua red de Arraiján Pueblo (este flujo está dibujado con flechas anaranjadas en la Figura A1). Aunque estas conexiones afectarían el balance de agua en el sector, suponemos que no tendrán un gran efecto dado que son de diámetro menor.

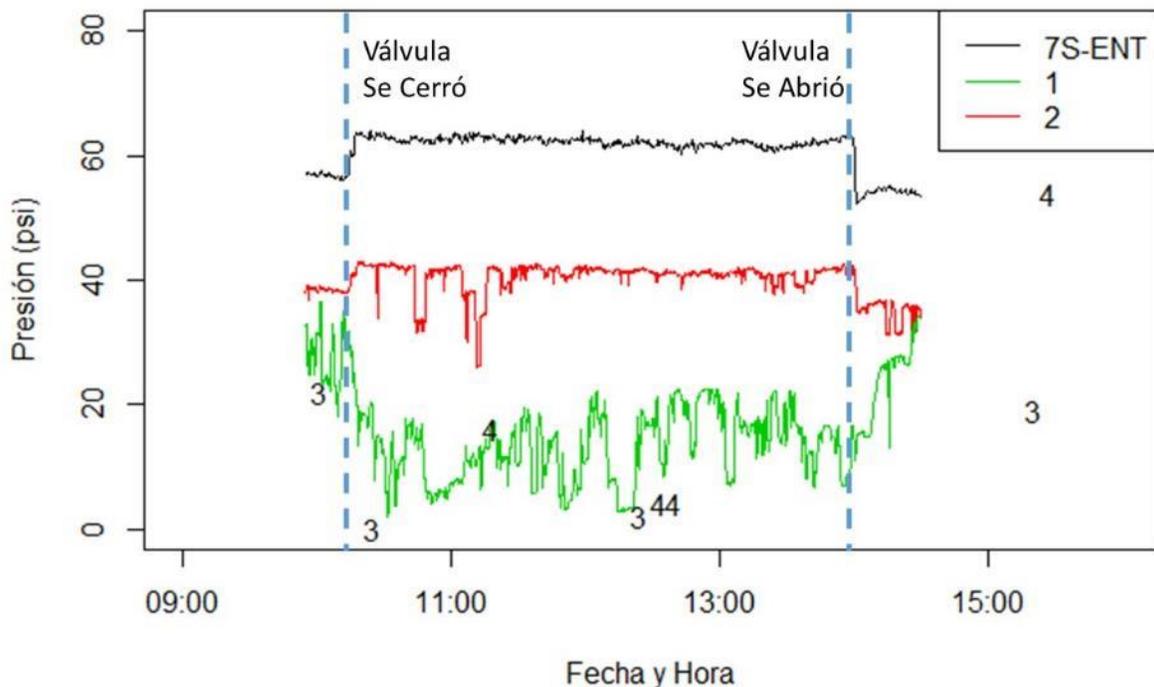


Figura A2. Prueba con válvula de control. Las mediciones instantáneas en los Puntos #3 y #4 aparecen como números en la gráfica.

B. Límite Sur con Barriada Los Pinos

En la base de datos SIG del IDAAN aparece una interconexión entre la parte sur de 7S y la red de la Barriada Los Pinos. Sin embargo, personal del IDAAN y vecinos del lugar dijeron que los dos sectores están aislados. Para comprobar esto, se hicieron mediciones de presión simultáneas en dos casas de la misma calle, una (Punto #6 en la Figura A1) supuestamente alimentada de la red de 7S y la otra (Punto #5) supuestamente alimentada de la red de Los Pinos. Como se ve en la Figura A3, hubo una gran diferencia entre las presiones de las dos casas, a pesar de su cercanía y al hecho

de que están casi a la misma elevación. Así que las mediciones de presión también indican que no hay interconexión.

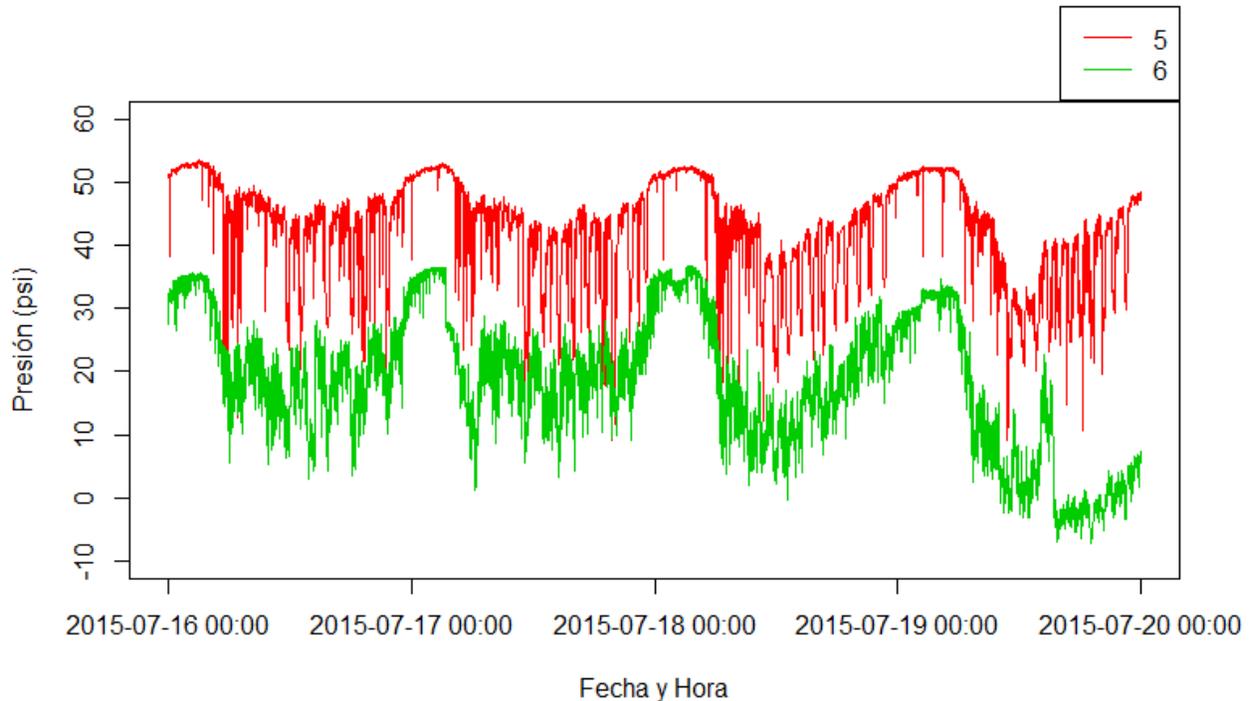


Figura A3. Mediciones de presión 7S – Los Pinos

Zona 3: La Alameda (AL)

En esta zona no había duda sobre el aislamiento. Sin embargo, queríamos comprobar las mediciones del caudalímetro en la entrada de la zona. El punto de medición se encontraba en un lugar más alto, por lo que pensamos que el tubo podría tener aire. El 13 de julio de 2015, personal del Departamento de Distribución y Control de Pérdidas del IDAAN fue a Arraiján e instaló un caudalímetro ultrasónico en el tubo de entrada de 4", aproximadamente a 750 metros aguas abajo del caudalímetro de entrada, en un punto donde el tubo está al aire libre. El caudalímetro ultrasónico registró un caudal de 140 galones por minuto (GPM), mientras que el caudalímetro permanente, de marca Seametrics, registró 149 GPM, una diferencia de 9 GPM. Según sus especificaciones, la precisión del caudalímetro Seametrics es de +/- 1.5% de su caudal máximo. Dado que el caudal máximo para 4" es de 1,190 GPM, el resultado sería +/- 18 GPM. Así que, la diferencia entre ambas mediciones cae dentro de este rango. Aun cuando no hay conexiones al tubo de 4", entre el lugar donde está el caudalímetro Seametrics y el lugar donde se instaló el caudalímetro ultrasónico, podría haber fugas que también contribuyan a la diferencia de 9 GPM.

Zona 4: Vista Bella (VB)

En VB había tres puntos de duda (marcados #1, #3 y #4 en la Figura A4) en donde aparecen interconexiones en el SIG del IDAAN.



Figura A4. Croquis de VB

Punto #1

Según el personal del IDAAN, en este punto, había una válvula check para prevenir que el agua saliera de VB hacia El Llano. Cuando se inició este estudio en agosto de 2014, en el sector de El Llano había poca presión y, según el personal del IDAAN, el agua de El Llano casi nunca llegaba a VB. Sin embargo, el 21 de enero de 2015 se instaló una nueva tubería en el sector de El Llano que mejoró el suministro. De acuerdo al personal del IDAAN, ese cambio permitió la entrada de agua, desde El Llano, al sector de VB cuando el bombeo de VB está apagado. Durante los días 14 y 15 de julio de 2015, aproximadamente a las 3 pm y 10:30 am respectivamente, el personal del Departamento de Distribución y Control de Pérdidas del IDAAN midió el caudal en el Punto #1 para verificar la magnitud y la dirección del flujo bajo diferentes condiciones.

La Tabla A1 muestra los resultados de dichas mediciones. Como éstas sólo se hicieron durante algunos minutos dos días, no son representativas de todas las condiciones que ocurren en la red. Sin embargo, dan una idea de la magnitud y la dirección del flujo que puede haber en este punto. Se observa que, cuando la Estación de Bombeo VB (EB-VB) estaba apagada, el agua entraba a VB desde El Llano; y que, cuando una o dos bombas de EB-VB estaban encendidas, el agua salía de VB hacia El Llano. Esta salida de un caudal significativo de agua indica que no existe una

válvula check en este punto o que está dañada. Es un hecho constatado de que cuando se cerró una válvula entre el Punto #1 y El Llano, el caudal en el Punto #1 bajó casi a cero. También nos consta que, al repetir la medición con dos bombas encendidas y una válvula abierta, el caudal hacia El Llano fue mayor durante la mañana siguiente.

Estas pruebas comprobaron que la zona de estudio de VB no está aislada en este punto y proporcionaron una estimación de la magnitud del flujo que pudiera estar entrando y saliendo en dicho punto. Las pruebas también fueron provechosas para el IDAAN, porque se dio cuenta que el agua está pasando de VB a El Llano en donde no se pensaba que lo hacía.

Tabla A1: Mediciones del caudal, Punto #1 entre VB y El Llano.

Fecha	Condición de Estación de Bombeo VB	Condición de Válvula #5	Dirección de Flujo	Magnitud de Flujo
2015-07-14	Apagada	Abierta	Hacia VB	~80 GPM
2015-07-14	1 Bomba Trabajando	Abierta	Hacia El Llano	~45 GPM
2015-07-14	2 Bombas Trabajando	Abierta	Hacia El Llano	~63 GPM
2015-07-14	2 Bombas Trabajando	Cerrada	Hacia El Llano	~5 GPM
2015-07-15	2 Bombas Trabajando	Abierta	Hacia El Llano	~82 GPM

Punto #3

Durante la visita del Ing. Stefan Buss, se inspeccionó este punto junto con el Sr. Mauro Romero del IDAAN y se concluyó que el flujo está cerrado con un tapón o una válvula. También se hizo un monitoreo de la presión en una casa en el Punto #2, para comprobar que la presión en esa casa no se veía afectada por el apagado y el encendido de la EB-VB (Figura A5).

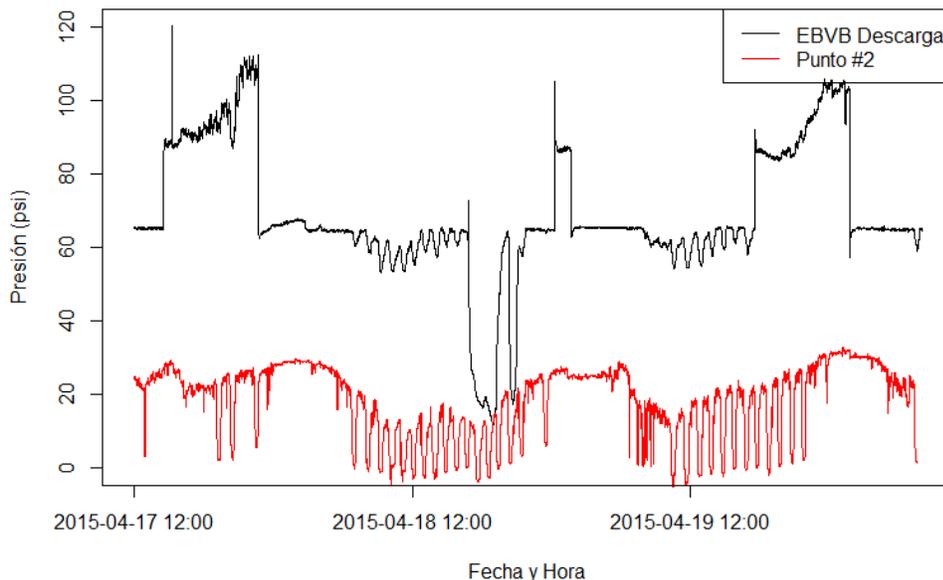


Figura A5. Medición de presión en la frontera de VB por Punto #3.

Punto #4

Durante la visita del Ing. Stefan Buss, se inspeccionó también este punto junto con el Sr. Mauro Romero del IDAAN, y éste último confirmó que había una válvula cerrada en este punto.

Anexo B. Datos adicionales para periodos sin agua

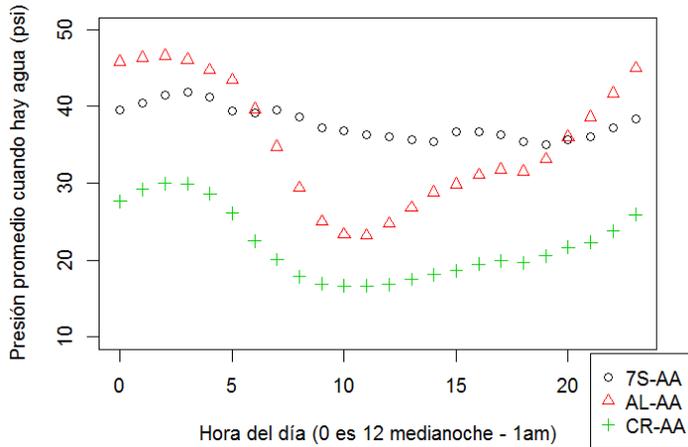


Figura B1. Variación de la presión promedio (sólo se tomó en cuenta el tiempo cuando hubo agua) por hora del día.

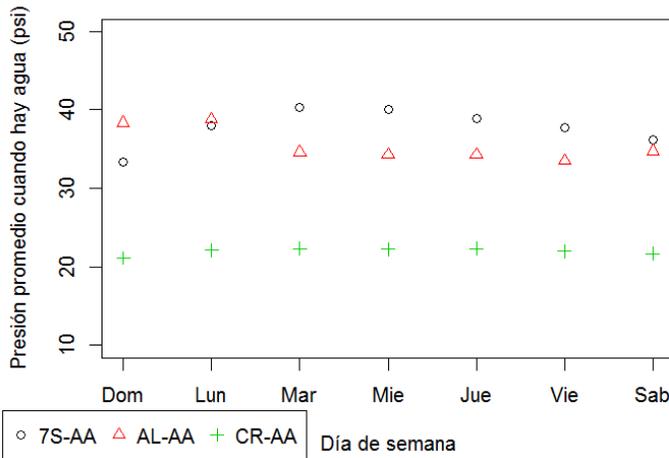


Figura B2. Variación de la presión promedio (sólo se tomó en cuenta el tiempo cuando hubo agua) por día de la semana.

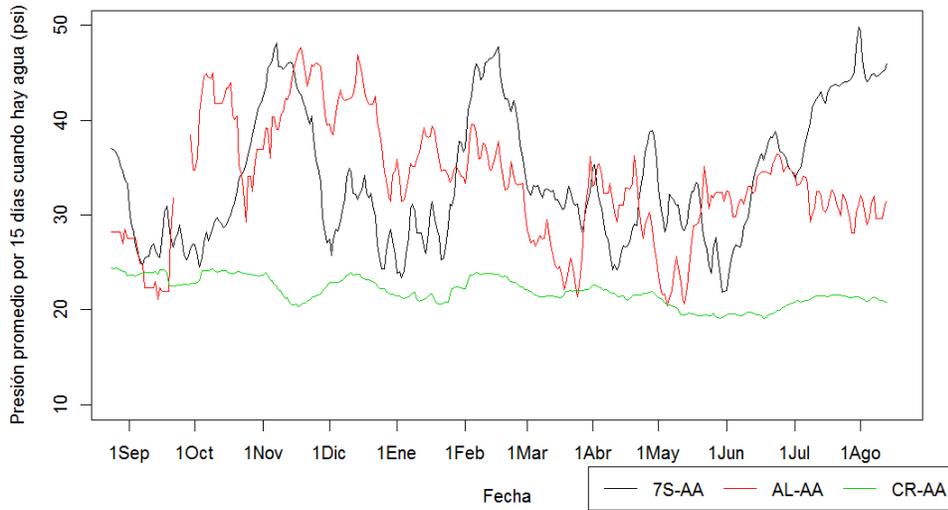


Figura B3. Para cada día se grafica la media móvil de 15 días (el promedio de los 15 días más cercanos) de la presión en el punto AA (sólo se tomó en cuenta el tiempo cuando hubo agua). Nota: El quiebre en la línea para AL-AA se debe a interrupciones en la toma de datos.

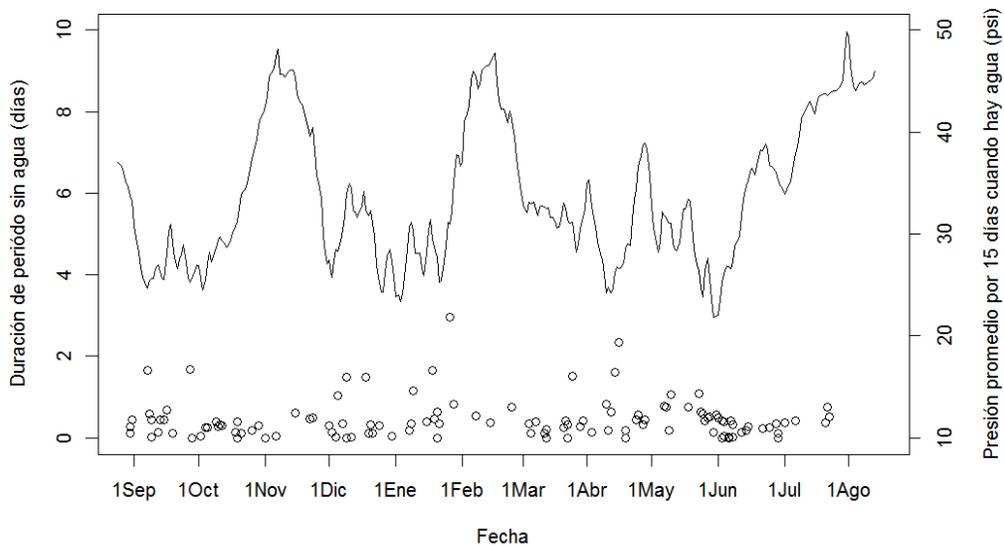


Figura B4. 7 de Septiembre. Para cada día, la línea marca la media móvil de 15 días (el promedio de los 15 días más cercanos) de la presión en el punto AA (sólo se tomó en cuenta el tiempo cuando hubo agua). Cada punto representa un periodo sin agua y la duración de ese periodo.

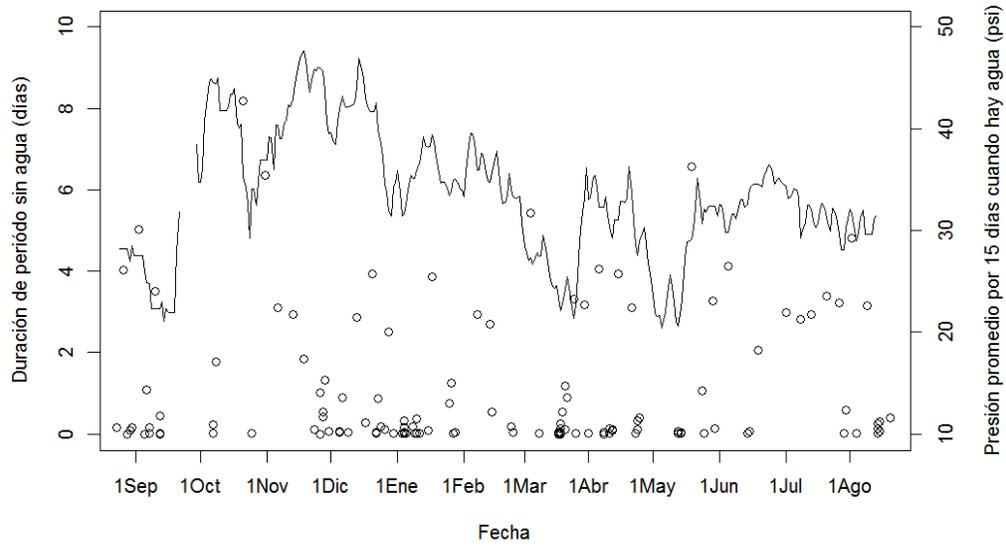


Figura B5. AL. Para cada día, la línea marca la media móvil de 15 días (el promedio de los 15 días más cercanos) de la presión en el punto AA (sólo se tomó en cuenta el tiempo cuando hubo agua). Cada punto representa un periodo sin agua y la duración de ese periodo. Nota: El quiebre en la línea para AL-AA es por falta de datos.

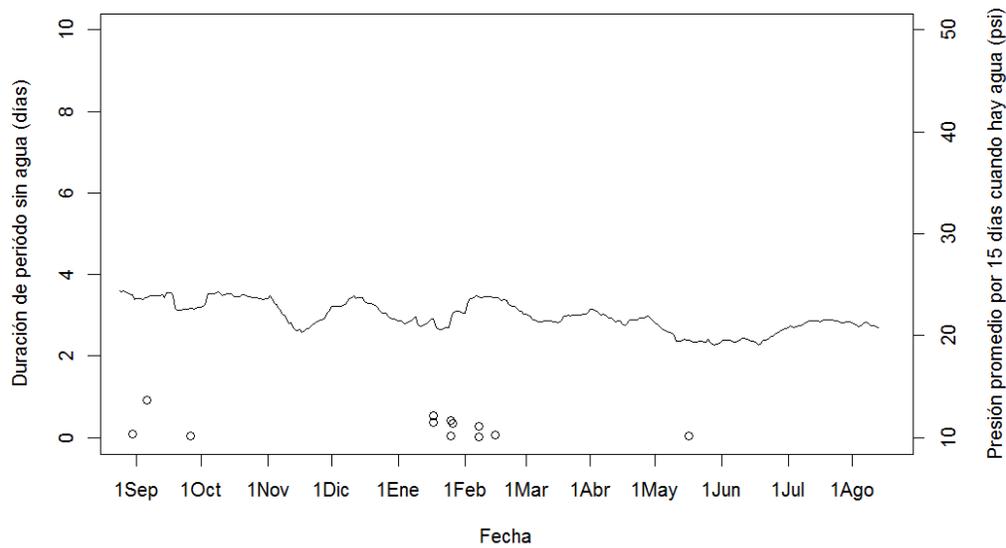


Figura B6. El Cristal. Para cada día, la línea marca la media móvil de 15 días (el promedio de los 15 días más cercanos) de la presión en el punto AA (sólo se tomó en cuenta el tiempo cuando hubo agua). Cada punto representa un periodo sin agua y la duración de ese periodo.

Anexo C. Métodos de muestreo y análisis para el muestreo puntual de la calidad del agua

C.1. Métodos de muestreo

C.1.1. Muestreo rutinario

Antes de tomar una muestra de un grifo domiciliario o de uno de los grifos de muestreo de una tubería de conducción o distribución, se desinfectó la boca del grifo con un atomizador de una concentración de hipoclorito de sodio de 0.5%. Después, se abrió la llave y se dejó correr el agua por un cierto periodo de tiempo (1.5 minutos si la muestra fue sólo para coliformes y *E. coli* y 15 minutos si la muestra fue para HPC o bacterias formadoras de esporas). Después se cerró el grifo parcialmente para producir un chorro de agua controlado, y se tomaron las muestras.

C.1.2. Muestreo de la primera descarga

El muestreo de la primera descarga fue igual que el muestreo rutinario, con excepción de que en vez de desinfectar el grifo para cada muestra sólo se desinfectó, aproximadamente, cada 20 minutos. También, como se estaban tomando muchas muestras seguidas, el agua se dejó correr sólo por un periodo de 30 segundos antes de cada muestra.

C.2. Métodos de análisis

C.2.1. Cloro libre residual

El cloro libre residual fue medido con un Hach Pocket Colorimeter II y DPD marca Hach. Antes de cada muestra, el “cero” del instrumento se calibró con la misma muestra (sin DPD) y el mismo frasco. La muestra de cloro siempre se analizó antes de que pasaran 5 minutos de haber sido tomada. Las medidas del instrumento fueron examinadas con los estándares SPEC de Hach, por lo menos cada 2 meses.

C.2.2. Turbiedad

La turbiedad se midió con un turbidímetro MicroTPW de HF. El instrumento se calibró cada 3 meses con los estándares de HF.

C.2.3. Coliformes totales, *E. coli*, y HPC

Todas las muestras bacteriológicas se recogían en envases estériles con tiosulfato de sodio hasta producir una concentración de 40 mg/L después de llenar el frasco con la muestra. Las muestras de 100 mL fueron analizadas para coliformes totales y *E. coli* usando el reactivo Colilert de IDEXX. Las muestras de HPC fueron diluidas con agua estéril a una concentración de 0.5% a 100% (de acuerdo a la concentración de HPC que se esperaba según los resultados anteriores) para tener una muestra diluida de 100 mL. Esta muestra fue analizada para HPC con un reactivo para HPC de IDEXX. Para coliformes, *E. coli* y HPC se usó el método de número más probable con bandejas Quantitray 2000 de IDEXX. Entre su toma y su análisis, las muestras se mantenían frías con hielo o en una nevera. Después se analizaron dentro de las 18 horas en que se tomaron.

C.2.4. Bacterias formadoras de esporas

Las muestras de 2.0 L fueron analizadas para bacterias formadoras de esporas con filtración de membrana, según el método detallado por Cartier et al.¹¹¹ Una diferencia era que se usó un caldo de tripticasa de soya en vez del buffer de tris-salina. Las muestras se pasteurizaron en un horno de aire durante 17 minutos (siempre en bolsas plásticas selladas) en vez de un baño de agua de 15 minutos, y las placas se incubaron a 37°C en vez de 35°C. Las muestras se guardaron con hielo o en una nevera y se analizaron dentro de las 28 horas en que se tomaron.

¹¹¹ Cartier, Clément, Marie Claude Besner, Benoit Barbeau, et al. 2009. “Evaluating Aerobic Endospores as Indicators of Intrusion in Distribution Systems.”

Anexo D. Datos de roturas

Zona	Longitud de tubería (km)	Número de roturas	Roturas por km por año	Edad (años)	Suministro
ALTOS DE CHUMICAL	0.07	12	55.57	10 a 25	Continuo
LAS ACACIAS	0.52	51	32.69	10 a 25	Intermedio
BARRIADA 28 NOVIEMBRE	1.50	119	26.36	< 10	Intermedio
SAN AGUSTIN (P)	0.44	22	16.77	> 25	Continuo
URBANIZACION LA ALAMEDA	1.35	30	7.41	< 10	Intermitente
LOS CERRITOS	0.88	18	6.85	10 a 25	Intermitente
BARRIADA ALTO DE LA TORRE	0.20	4	6.68	> 25	Continuo
EL VALLE DE LAS ROSAS	2.64	49.8	6.28	10 a 25	Continuo
CACERES	3.08	54.6	5.91	10 a 25	Continuo
URB. PARQUE DEL OESTE	0.42	7	5.52	< 10	Continuo
SAN VICENTE DE BIQUE	2.45	37.6	5.13	10 a 25	Continuo
LA CONSTANCIA	0.46	6.6	4.78	10 a 25	Continuo
BRISAS DEL CHUMICAL	0.66	8	4.04	10 a 25	Continuo
LOMA BONITA	3.65	41.2	3.76	10 a 25	Continuo
VISTA BELLA	3.49	39	3.72	> 25	Intermitente
RESIDENCIAL LA ARBOLEDA	2.40	26.6	3.70	10 a 25	Continuo
VISTA ALEGRE	9.89	101.6	3.43	> 25	Continuo
COLINAS DEL SOL	0.59	6	3.38	10 a 25	Continuo
BURUNGA (P)	17.40	166	3.18	10 a 25	Continuo
RESIDENCIAL PRINCESA MIA 1ra ETAPA	1.81	16.6	3.06	< 10	Continuo
URBANIZACION HATO MONTAÑA	1.50	13	2.89	< 10	Continuo
BARRIO TALAMANCA	2.42	20.2	2.79	> 25	Intermedio
CERRO SILVESTRE	11.67	88.2	2.52	> 25	Continuo
VILLA ALEGRE	0.27	2	2.50	10 a 25	Continuo
URBANIZACION NUEVO CHORRILLO	10.16	75.7	2.48	> 25	Continuo
ARRAIJAN	5.25	38.6	2.45	> 25	Continuo
SAN JOSE	1.36	9.6	2.35	10 a 25	Continuo
BARRIADA VALLE DEL SOL	2.90	19.6	2.25	< 10	Intermedio
BARRIADA 7 DE SEPTIEMBRE	7.31	47.5	2.16	10 a 25	Intermedio
CIUDAD VACAMONTE	11.85	75.1	2.11	10 a 25	Continuo
BARRIADA LOS PINOS	2.25	12	1.78	10 a 25	Continuo
BARRIADA LAS NUBES	2.34	12	1.71	< 10	Intermitente
PEÑA BLANCA	0.90	4.5	1.65	< 10	Intermitente
RESIDENCIAL ALTOS DE CACERES	1.09	5	1.53	10 a 25	Continuo
BARRIADA THATCHER	1.56	7	1.49	> 25	Continuo
BAJO LAS PALMAS	1.29	5.6	1.45	10 a 25	Intermedio
RIO INDIO (P)	2.36	10	1.41	10 a 25	Continuo
RESIDENCIAL PRINCESA MIA 2da ETAPA	1.28	5	1.31	< 10	Continuo

Zona	Longitud de tubería (km)	Número de roturas	Roturas por km por año	Edad (años)	Suministro
EL CHORRO	1.32	5	1.26	10 a 25	Continuo
SAN BERNARDINO	2.44	9	1.23	10 a 25	Continuo
BARRIADA LA PAZ	13.40	48.6	1.21	10 a 25	Continuo
GENERACION 2,000	2.00	7	1.17	10 a 25	Intermitente
EL LLANO	2.43	8	1.10	> 25	Continuo
BARRIADA EL CRISTAL	3.56	11.5	1.08	< 10	Continuo
BARRIADA CRUZ DE ORO	0.31	1	1.06	10 a 25	Intermedio
URBANIZACION LLUVIA DE ORO	0.95	3	1.05	< 10	Continuo
SAN AGUSTIN	0.33	1	1.01	> 25	Continuo
BARRIO LOMA DEL RIO	1.67	5	1.00	10 a 25	Intermedio
ALTOS DE NUEVO ARRAIJAN	3.65	10.6	0.97	10 a 25	Continuo
LA PLOVAREDA	1.78	5	0.94	> 25	Intermedio
CIUDAD DEL FUTURO	6.99	19	0.91	10 a 25	Continuo
BARRIADA 2000	10.70	27.2	0.85	> 25	Continuo
RESIDENCIAL BRISAS DEL MAR	2.43	6	0.82	10 a 25	Continuo
URBANIZACION LA ESTANCIA	2.90	7	0.81	10 a 25	Continuo
RESIDENCIAL VISTA ALEGRE	8.71	19.8	0.76	10 a 25	Continuo
LA CASCADA	3.64	7.7	0.71	< 10	Intermitente
URBANIZACION EL PALMAR	2.00	4	0.67	< 10	Continuo
RESIDENCIAL VILLA DIANA	0.52	1	0.64	< 10	Continuo
RESIDENCIAL LA ISABELA	0.53	1	0.63	< 10	Continuo
URBANIZACION ALTAMIRA	2.70	5	0.62	10 a 25	Continuo
BARRIADA FUNDAVICO	2.17	4	0.62	10 a 25	Continuo
NUEVO ARRAIJAN	16.48	30	0.61	10 a 25	Continuo
BARRIADA EL TORO	1.12	2	0.59	< 10	Continuo
RESIDENCIAL NUEVO ARRAIJAN	6.83	12	0.59	10 a 25	Continuo
URBANIZACION VALLE HERMOSO	6.24	10	0.53	< 10	Continuo
ALTOS DE VACAMONTE	2.31	3.6	0.52	10 a 25	Continuo
LA FLORESTA	5.46	8	0.49	10 a 25	Continuo
URBANIZACION LLUVIA DE ORO II	2.19	3	0.46	< 10	Continuo
BRISAS DE ARRAIJAN	2.20	3	0.46	10 a 25	Continuo
BARRIADA 13 DE FEBRERO	6.06	8	0.44	10 a 25	Intermitente
VILLAS EL CARRIZAL	0.79	1	0.42	10 a 25	Continuo
URBANIZACION COLINAS DEL SOL	4.25	5	0.39	10 a 25	Continuo
BARRIADA 11 DE OCTUBRE	0.93	1	0.36	10 a 25	Continuo
RESIDENCIAL PARQUE CENTENARIO	1.95	2	0.34	< 10	Continuo
BARRIADA OMAR TORRIJOS	13.40	13	0.32	10 a 25	Continuo
LAS PRADERAS	4.34	4	0.31	10 a 25	Continuo
LOS CEREZOS	3.33	3	0.30	10 a 25	Continuo

Zona	Longitud de tubería (km)	Número de roturas	Roturas por km por año	Edad (años)	Suministro
EL TECAL	31.42	26.6	0.28	10 a 25	Continuo
URBANIZACION LA HACIENDA	1.22	1	0.27	10 a 25	Continuo
LAS PERLAS	1.35	1	0.25	10 a 25	Continuo
RES. ALTOS DE VISTA ALEGRE	2.18	1.6	0.25	10 a 25	Continuo
ALTOS DE VILLA DEL SOL	0.52	0.4	0.24	< 10	Intermitente
BARRIADA 26 DE DICIEMBRE	1.63	1	0.20	< 10	Intermedio
ALTOS DE LAS HUACAS	3.45	2	0.19	10 a 25	Continuo
URBANIZACION SAN GABRIEL	1.71	0.6	0.12	< 10	Continuo
BARRIADA LA LIBERTAD	3.01	1	0.11	10 a 25	Intermedio
RESIDENCIAL LA CONSTANCIA	4.34	1	0.08	10 a 25	Continuo
COLINAS DE CACERES	5.23	0.6	0.04	10 a 25	Continuo
11 DE OCTUBRE	1.88	0	0.00	10 a 25	Intermedio
ALTOS DEL MIRADOR	0.45	0	0.00	10 a 25	Continuo
BARRIADA 4 DE FEBRERO	0.78	0	0.00	10 a 25	Continuo
BARRIADA 7 DE JUNIO	0.59	0	0.00	10 a 25	Continuo
BARRIADA ALTOS DEL LAGO	0.26	0	0.00	10 a 25	Intermitente
BARRIADA CANAAN	0.14	0	0.00	< 10	Intermedio
BARRIADA EL CAMPESINO	0.34	0	0.00	10 a 25	Continuo
BARRIADA EL GRINGO	1.63	0	0.00	10 a 25	Intermedio
BARRIADA EL PARAISO	1.62	0	0.00	10 a 25	Intermedio
BARRIADA EL PROGRESO	3.46	0	0.00	> 25	Intermedio
BARRIADA LA SARDINA	0.86	0	0.00	> 25	Intermedio
BARRIADA LAS VEGAS	0.46	0	0.00	10 a 25	Continuo
BARRIADA LOS ANGELES	1.15	0	0.00	10 a 25	Continuo
BARRIADA ROGELIO PAREDES	1.63	0	0.00	10 a 25	Continuo
BARRIADA TAGAR KUNA	1.02	0	0.00	10 a 25	Continuo
BARRIADA YANITZA	0.20	0	0.00	10 a 25	Continuo
BARRIO SAN NICOLAS	2.19	0	0.00	> 25	Continuo
BOO YALA	1.22	0	0.00	< 10	Intermedio
CANTON DE CACERES	1.23	0	0.00	10 a 25	Continuo
EL MIRADOR	0.14	0	0.00	10 a 25	Continuo
EL VALLE DE ARRAIJAN	0.41	0	0.00	10 a 25	Continuo
HATO MONTAÑA	0.07	0	0.00	10 a 25	Continuo
LA CANTERA	0.42	0	0.00	> 25	Continuo
LA COLINA	0.51	0	0.00	10 a 25	Continuo
LAS HUACAS	0.96	0	0.00	10 a 25	Continuo
LOMA VISTA MAR	0.45	0	0.00	< 10	Continuo
LOS CEREZOS No.2	1.82	0	0.00	10 a 25	Continuo
LOS GUAYACANES	0.16	0	0.00	< 10	Continuo

Zona	Longitud de tubería (km)	Número de roturas	Roturas por km por año	Edad (años)	Suministro
MARACANA	1.19	0	0.00	10 a 25	Continuo
PASEO LA UNION	0.28	0	0.00	10 a 25	Continuo
PUEBLO ESCONDIDO	0.30	0	0.00	10 a 25	Continuo
REPARTO ALTOS DE CACERES	2.02	0	0.00	< 10	Continuo
REPARTO MARIA EUGENIA	0.18	0	0.00	10 a 25	Continuo
RESIDENCIAL ALICANTE	0.19	0	0.00	10 a 25	Continuo
RESIDENCIAL BELLA ESPERANZA	1.03	0	0.00	10 a 25	Continuo
RESIDENCIAL CONDESA	0.75	0	0.00	< 10	Continuo
RESIDENCIAL LOS PINOS	0.42	0	0.00	< 10	Continuo
RESIDENCIAL VILLA ELENA	0.47	0	0.00	< 10	Continuo
RESSIDENCIAL VISTA ALEGRE No.2	2.69	0	0.00	10 a 25	Continuo
SAN ISIDRO	0.12	0	0.00	10 a 25	Continuo
SOL NACIENTE	0.39	0	0.00	10 a 25	Continuo
URBANIZACION AIRES DE HATO MONT.	1.29	0	0.00	< 10	Continuo
URBANIZACION ALTOS DE SAN GABRIEL	1.39	0	0.00	< 10	Continuo
URBANIZACION BELLO AMOR	0.81	0	0.00	< 10	Continuo
URBANIZACION LAS PALMERAS	2.19	0	0.00	< 10	Continuo
URBANIZACION LLUVIA DE ORO III	0.15	0	0.00	< 10	Continuo
URBANIZACION LOS CORTIJOS	0.19	0	0.00	< 10	Continuo
URBANIZACION LOS ROSALES	1.25	0	0.00	< 10	Continuo
URBANIZACION MAYIN	0.50	0	0.00	10 a 25	Continuo
URBANIZACION MONTEVISTA	1.23	0	0.00	< 10	Continuo
URBANIZACION VALLE DEL SOL	2.87	0	0.00	< 10	Continuo
VALLE DE LOS CEREZOS	1.29	0	0.00	10 a 25	Continuo
VILLA ANGELA	0.35	0	0.00	10 a 25	Continuo
VILLAS DEL ENCANTO	0.21	0	0.00	< 10	Continuo