

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y
ALCANTARILLADOS
LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS**



**INFORME ANUAL 2016
CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO
HUMANO EN LOS ACUEDUCTOS OPERADOS POR AYA**

Elaborado por:

MSc. Jimena Orozco Gutiérrez

Revisado por:

Lic. Azucena Urbina Campos

Dr. Pablo Rivera Navarro

Aprobado por:

Dr. Dárner Mora Alvarado

Mayo 2017



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN
EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, Annette Henchoz Castro

N° Cédula: 1-0725-0409

Dependencia: Gerencia General

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: centrodoc@aya.go.cr **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por
Annette Henchoz Castro
Fecha: 2019.11.25 16:07:20
-06'00'

Firma: _____

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Objetivo General	13
1.2. Objetivos Específicos	13
2. METODOLOGÍA	14
2.1. Muestreo	14
2.2. Técnicas de laboratorio	16
2.3. Interpretación de los resultados.....	16
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR REGIÓN	21
3.1. Región Área Metropolitana.....	21
3.1.1. Discusión	21
3.1.2. Conclusiones	33
3.1.3. Recomendaciones.....	35
3.2. Región Huertar Atlántica	37
3.2.1. Discusión	37
3.2.2. Conclusiones	42
3.2.3. Recomendaciones.....	43
3.3. Región Chorotega	44
3.3.1. Discusión	44
3.3.2. Conclusiones	56
3.3.3. Recomendaciones.....	57
3.4. Región Central	59
3.4.1. Discusión	59
3.4.2. Conclusiones	65
3.4.3. Recomendaciones.....	66
3.5. Región Brunca.....	67
3.5.1. Discusión	67
3.5.2. Conclusiones	76
3.5.3. Recomendaciones.....	77
3.6. Región Pacífico Central.....	78
3.6.1. Discusión	78
3.6.2. Conclusiones	86
3.6.3. Recomendaciones.....	86
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL	88
5. CONCLUSIONES GENERALES	110

6. RECOMENDACIONES GENERALES.....	114
7. REFERENCIAS	116

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Población abastecida y número de sistemas para cada región del AyA durante el 2016.	10
Cuadro 1.2. Fuentes de abastecimiento de los acueductos operados por cada región del AyA durante el 2016.	11
Cuadro 2.1.1. Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras microbiológicas de red a recolectar según población abastecida.	15
Cuadro 2.1.2. Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras a recolectar para análisis físico-químicos en las fuentes de abastecimiento y red de distribución para los niveles N2 y N3.	16
Cuadro 2.3.1. Código de colores para clasificar la calidad microbiológica del agua para consumo humano en la red de distribución.	18
Cuadro 2.3.2. Parámetros de calidad del agua control operativo (CO).....	19
Cuadro 2.3.3. Parámetros de calidad del agua nivel primero (N1).	19
Cuadro 2.3.4. Parámetros de calidad del Agua nivel segundo (N2).	20
Cuadro 2.3.5. Parámetros de calidad del agua nivel tercero (N3).	20
Cuadro 3.1.1. Subsistemas con concentraciones de cloro residual libre inferiores al rango inferior admisible (< 0,30 mg/L).....	22
Cuadro 3.1.2. Subsistemas con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).	22
Cuadro 3.1.3. Calidad según criterios microbiológicos de los subsistemas clorados del Acueducto Metropolitano de la Región Área Metropolitana para el periodo 2016.	23
Cuadro 3.1.4. Acueductos con concentraciones de cloro residual libre inferiores al Valor Máximo Admisible (< 0,30 mg/L).	24
Cuadro 3.1.5. Acueductos con niveles de color aparente superiores al Valor Máximo Admisible (> 15,00 UPt-Co).	25
Cuadro 3.1.6. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).....	25
Cuadro 3.1.7. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).	25
Cuadro 3.1.8. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos periféricos clorados de la Región Área Metropolitana para el periodo 2016.....	26
Cuadro 3.1.9. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos periféricos no clorados de la Región Área Metropolitana para el periodo 2016.	28
Cuadro 3.2.1. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).	38
Cuadro 3.2.2. Acueductos con concentraciones de hierro superiores al Valor Máximo Admisible (> 300,0 µg/L).	38
Cuadro 3.2.3. Acueductos con concentraciones de manganeso superior al Valor Máximo Admisible (> 500,0 µg/L).	39

Cuadro 3.2.4. Acueductos en los que se debe poner atención al nivel de conductividad eléctrica (> 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).	39
Cuadro 3.2.5. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Huetar Atlántica para el periodo 2016.	39
Cuadro 3.2.6. Calidad microbiológica de los acueductos no clorados de la Región Huetar Atlántica para el periodo 2016.	40
Cuadro 3.3.1. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).	45
Cuadro 3.3.2. Acueductos con niveles de color aparente superiores al Valor Máximo Admisible (> 15,00 UPt-Co).	45
Cuadro 3.3.3. Acueductos con niveles de pH menores del rango inferior recomendado (< 6,00).	45
Cuadro 3.3.4. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 $\mu\text{g}/\text{L}$).	46
Cuadro 3.3.5. Acueductos en los que se debe poner atención al nivel de conductividad eléctrica (> 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).	46
Cuadro 3.3.6. Acueductos con concentraciones de magnesio superiores al Valor Máximo Admisible (> 50,0 mg/L).	47
Cuadro 3.3.7. Acueductos con concentraciones de calcio superiores al Valor Máximo Admisible (> 100,0 mg/L).	47
Cuadro 3.3.8. Acueductos con concentraciones de dureza total superiores al Valor Máximo Admisible (> 400 mg/L).	47
Cuadro 3.3.9. Acueductos con concentraciones de cloruros superiores al Valor Máximo Admisible (> 250,00 mg/L).	48
Cuadro 3.3.10. Acueductos con concentraciones de fluoruros superiores al Valor Máximo Admisible (> 1,50 mg/L).	48
Cuadro 3.3.11. Acueductos con concentraciones de arsénico superiores al Valor Máximo Admisible (> 10,0 $\mu\text{g}/\text{L}$).	48
Cuadro 3.3.12. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Chorotega para el periodo 2016.	49
Cuadro 3.3.13. Calidad según criterios microbiológicos y físico-químicos de acueductos clorados de la Región Chorotega para el periodo 2016.	51
Cuadro 3.4.1. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).	60
Cuadro 3.4.2. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 $\mu\text{g}/\text{L}$).	60
Cuadro 3.4.3. Acueductos con concentraciones de nitritos superiores al Valor Máximo Admisible (> 0,10 mg/L).	60
Cuadro 3.4.4. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Central para el periodo 2016.	60
Cuadro 3.4.5. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos no clorados de la Región Central para el periodo 2016.	62

Cuadro 3.5.1. Acueductos con niveles de color verdadero superiores al Valor Máximo Admisible (> 15,0 UPt-Co).....	68
Cuadro 3.5.2. Acueductos con concentraciones de hierro superiores al Valor Máximo Admisible (> 300,0 µg/L).	68
Cuadro 3.5.3. Acueductos con concentraciones de manganeso superior al Valor Máximo Admisible (> 500,0 µg/L).	69
Cuadro 3.5.4. Acueductos con concentraciones de potasio superiores al Valor Máximo Admisible (> 10,0 mg/L).....	69
Cuadro 3.5.5. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).....	69
Cuadro 3.5.6. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).	69
Cuadro 3.5.7. Acueductos en los que se debe poner atención al nivel de conductividad eléctrica (> 500 µS/cm).	70
Cuadro 3.5.8. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Brunca para el periodo 2016.	71
Cuadro 3.5.9. Calidad según criterios microbiológicos y físico-químicos de acueductos clorados de la Región Brunca para el periodo 2016.....	73
Cuadro 3.6.1. Acueductos con niveles de color verdadero superiores al Valor Máximo Admisible (> 15,0 UPt-Co).....	79
Cuadro 3.6.2. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).....	79
Cuadro 3.6.3. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).	79
Cuadro 3.6.4. Acueductos con niveles de pH menores del rango inferior recomendado (< 6,00).	80
Cuadro 3.6.5. Acueductos con concentraciones de hierro superiores al Valor Máximo Admisible (> 300,0 µg/L).	80
Cuadro 3.6.6. Acueductos en los que se debe poner atención al nivel de conductividad eléctrica (> 500 µS/cm).	80
Cuadro 3.6.7. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Pacífico Central para el periodo 2016.	81
Cuadro 3.6.8. Calidad según criterios microbiológicos y físico-químicos de acueductos clorados de la Región Pacífico Central para el periodo 2016.	82
Cuadro 4.1. Número de sistemas de los acueductos operados por AyA por región según calidad del agua de consumo en el 2016.	88
Cuadro 4.2. Calidad del agua en acueductos administrados por AyA según población total abastecida durante el 2016.*	89
Cuadro 4.4. Calidad del agua en <u>acueductos clorados</u> administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2016.	89
Cuadro 4.5. Calidad del agua en <u>acueductos no clorados</u> administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2016.	90

Cuadro 4.6. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos no potables clorados operados por AyA para el periodo 2016.....	90
Cuadro 4.7. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos no potables no clorados operados por AyA para el periodo 2016.....	91
Cuadro 4.8. Calidad según criterios físico-químicos de acueductos no potables operados por el AyA para el periodo 2016.	92
Cuadro 4.9. Calidad del agua en acueductos operados por AyA según población abastecida por provincia en el 2016.	94
Cuadro 4.10. Número de acueductos operados por AyA por provincia según calidad del agua de consumo en el 2016.	94
Cuadro 4.11. Cobertura de tecnología de potabilización y desinfección del agua según grupos de población por provincia en los acueductos operados por AyA en el 2016.....	95
Cuadro 4.12. Acueductos no clorados operados por AyA por región que suministraron agua de calidad no potable del 2007 al 2016.	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Fuentes superficiales, subsuperficiales y subterráneas administradas por AyA en Costa Rica en el 2015.	12
Figura 4.1. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en cada región del AyA en los últimos cinco años.	97
Figura 4.2. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en acueductos del AyA en los últimos cinco años.	98
Figura 4.3. Acueductos no clorados operados por AyA que suministraron agua de calidad no potable del 2007 al 2016.	98
Figura 4.4. Población abastecida por acueductos no clorados operados por AyA del 2013 al 2016.	99
Figura 4.5. Población abastecida con agua de calidad potable y no potable de acueductos operados por AyA en el 2016.	101
Figura 4.6. Población abastecida con agua de calidad no potable de acueductos operados por AyA en el 2016.	102

1. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta la evaluación de la calidad del agua suministrada por los acueductos operados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), incluidos en el programa de Control de Calidad del Agua para Consumo Humano, durante el periodo 2016. Dicho programa se ejecuta a través del Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), desde 1964, cuando se inició con el control de calidad del agua en el Acueducto Metropolitano, y posteriormente, en 1970 se extendió a los acueductos restantes operados por el AyA (Mora Alvarado, y otros, 2013).

El AyA, como ente operador, es el responsable jurídico de la calidad e inocuidad del agua que produce y suministra a los usuarios hasta la entrada del medidor; así como de la correcta supervisión, inspección, mantenimiento, funcionamiento seguro del sistema de abastecimiento; el mantenimiento preventivo, el análisis sistemático de la calidad del agua y las medidas correctivas pertinentes. No tiene responsabilidad alguna sobre el deterioro de la calidad del agua como consecuencia del mal estado de la instalación de fontanería o del uso de depósitos de agua inadecuados en hogares y edificios.

El LNA ejerce una función fiscalizadora sobre el control operativo de los acueductos en el país. El laboratorio cuenta con más de 75 ensayos acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) de conformidad con los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, desde agosto del 2008 y seis procedimientos de inspecciones sanitarias acreditados de conformidad con los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17020:2012, desde enero del 2016.

El control de la calidad del agua para consumo humano se realiza para cada sistema de suministro de agua o acueducto. El Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S) establece el control de calidad del agua potable como la evaluación continua y sistemática de todas las partes del acueducto, a fin de cumplir las normas de calidad. Se define como acueducto al sistema formado por las fuentes de abastecimiento, tanque de almacenamiento y demás obras accesorias, y la red de distribución, cuyo objetivo es captar, conducir, tratar y distribuir el agua a la población.

Para controlar y mejorar la calidad del agua, que se va a distribuir, se llevan a cabo una serie de medidas, como son: la protección de las fuentes de agua, el control de las operaciones de tratamiento y de gestión de la distribución. En la mayoría de los acueductos operados por el AyA, se aplica tratamiento apropiado al agua de las fuentes de abastecimiento y vigilan las estructuras de almacenamiento y distribución cumpliendo los requisitos sanitarios de los abastecimientos de agua en los diferentes componentes de cada sistema, el cual permite evaluar la calidad del agua según los requisitos establecidos en el reglamento vigente.

Se define como agua potable aquella que cumple con las disposiciones de Valores Máximos Admisibles (VMA) estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos, establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S), que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, A cada parámetro de calidad se le establece un VMA; éste se define como el valor de la concentración de una sustancia química o densidad bacteriana, a partir de la cual existe rechazo del agua por parte de los consumidores o surge un riesgo inaceptable para la salud.

De acuerdo con los datos recopilados por el Programa de Control de Calidad del Agua del LNA, la población total abastecida por el AyA, en el 2016, fue de 2.307.265 personas aproximadamente; lo cual corresponde al 47,2 % de la población total del país con acceso a agua intradomiciliar (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2015).

Se registraron 204 acueductos operados por el AyA, de los cuales 188 eran clorados (suministraron agua al 99,7 % de la población abastecida por el AyA) y 16 no clorados (suministraron agua al 0,2 % de la población abastecida por el AyA). Estos acueductos pertenecientes al AyA, están distribuidos en seis Regiones: Área Metropolitana (RAM), Huetar Atlántica (RHA), Chorotega (RCH), Central (RC), Brunca (RB) y Pacífico Central (RPC). La RAM suministró agua al 54,4 % de la población abastecida por AyA, seguida de la RPC al 10,6 %, la RCH al 10,2 %, la RHA al 10,0 %, la RB al 8,2 % y, por último, la RC al 6,4 %. La población que abastece cada región, así como el respectivo número de acueductos clorados y no clorados, se detallan en el Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. Población abastecida y número de sistemas para cada región del AyA durante el 2016.

Región	Población abastecida						Número de sistemas		
	Clorados	%	No clorados	%	Total	%	Clorados	No clorados	Total
Área Metropolitana	1251404	99,70	3795	0,30	1255199	54,40	31	9	40
Brunca	189441	100,00	0	0,00	189441	8,21	28	0	28
Central	147617	99,92	114	0,08	147731	6,40	33	5	38
Chorotega	240431	100,00	0	0,00	240431	10,42	55	0	55
Huetar Atlántica	228632	99,26	1710	0,74	230342	9,98	14	2	16
Pacífico Central	244121	100,00	0	0,00	244121	10,58	27	0	27
Totales	2301646	99,76	5619	0,24	2307265	100	188	16	204

Fuente: Área de Microbiología, LNA

El término fuentes de abastecimiento o aprovechamiento, hace referencia a las aguas de dominio público (Ley N°276, 1942). En Costa Rica, las fuentes de abastecimiento se dividen en tres tipos:

- Subsuperficial o naciente: es aquel lugar donde el nivel estático de un acuífero aflora a la superficie, pues es cortado por la topografía o porque éste alcanza un estrato impermeable, que impide que el agua continúe infiltrándose en profundidad. En este sitio, el agua que aflora es aprovechada a través de la construcción de captaciones que permiten su incorporación a un acueducto. El caudal extraído será función del tipo de acuífero, la transmisividad, y la fuerza de la bomba, entre otros factores (S. Romero, UEN Gestión Ambiental, comunicación personal, abril, 7, 2016).
- Subterránea o pozo: es el aprovechamiento que se realiza del agua que se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre, en diferentes tipos de acuíferos (rocas fracturadas que tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua en sus espacios intersticiales), a la cual se accede mediante perforaciones verticales u horizontales, extrayendo el agua por medio de bombas sumergibles (S. Romero, UEN Gestión Ambiental, comunicación personal, abril, 7, 2016).

- Superficial: es el uso que se hace de las aguas de escorrentía superficial (que escurren libremente sobre la superficie terrestre), sean ríos, quebradas o canales artificiales; también puede derivarse agua superficial de embalses y lagos (S. Romero, UEN Gestión Ambiental, comunicación personal, abril, 7, 2016).

Para el 2016, el Programa de Control de Calidad del Agua del LNA reportó 614 fuentes de abastecimiento operadas por AyA a lo largo del territorio nacional; 356 subterráneas (58,0%), 196 subsuperficiales (31,9%), y 62 superficiales (10,1%), de las cuales aproximadamente dos tercios cuentan con tratamiento de potabilización convencional. En el Cuadro 1.2 se detalla la cantidad de fuentes de abastecimiento por región y en la Figura 1.1 se observa la distribución de las fuentes de abastecimiento en Costa Rica, para el año 2015 - existen ciertas variaciones con respecto al año 2016, ver Informe Anual 2015 de Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano en los Acueductos Operados por AyA (Orozco & Urbina, 2016; Orozco & Urbina, 2016) -. Para mayor información acerca del inventario y calidad de las fuentes de abastecimiento de AyA, ver el informe denominado “Inventario de la calidad de fuentes de abastecimiento operadas por AyA para el año 2015” (Orozco & Solís, 2016).

Cuadro 1.2. Fuentes de abastecimiento de los acueductos operados por cada región del AyA durante el 2016.

Región	Fuentes de Abastecimiento			
	Total	Subterráneas	Subsuperficiales	Superficiales
Área Metropolitana	113	51	34	28
Brunca	79	17	52	10
Central	83	26	48	9
Chorotega	164	144	15	5
Huetar Atlántica	31	15	14	2
Pacífico Central	144	103	33	8
Totales	614	356	196	62

Fuente: Área de Microbiología, LNA

El presente Informe Anual del 2016 busca vigilar la calidad del agua suministrada, para determinar el cumplimiento del mandato de la legislación vigente, con el fin de prevenir los riesgos de enfermedades asociadas al agua. El informe comprende un resumen de la calidad del agua suministrada por los acueductos en las distintas regiones, donde se contempla el cumplimiento o no de criterios de evaluaciones de parámetros microbiológicos y físico-

químicos. La información se analizó para cada una de las regiones por separado, y posteriormente, se realizó un análisis general comparando las distintas regiones entre sí, al igual que entre provincias y comparándolas con años anteriores.

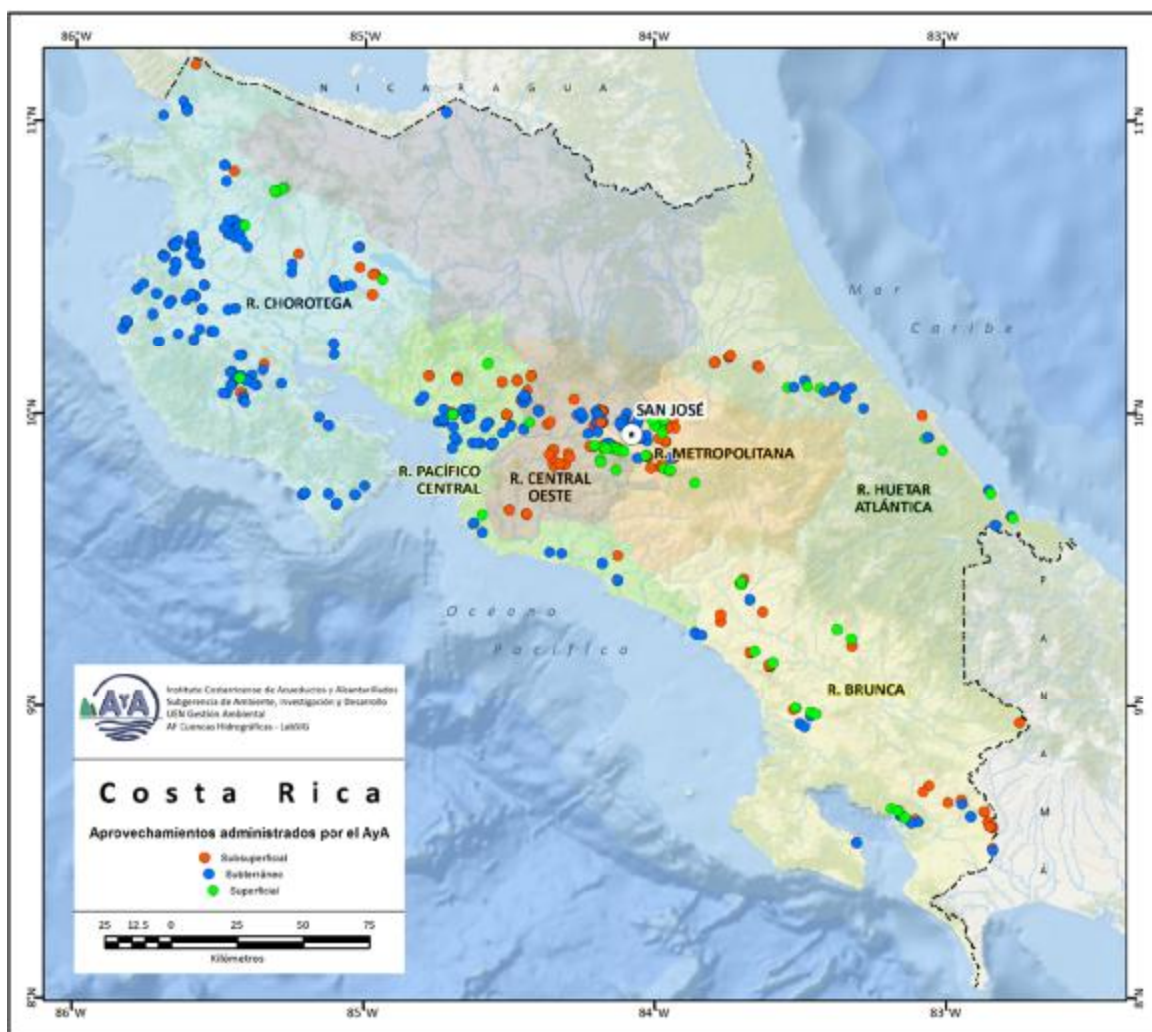


Figura 1.1. Fuentes superficiales, subsuperficiales y subterráneas administradas por AyA en Costa Rica en el 2015.

Fuente: Unidad Estratégica de Negocio (UEN) de Gestión Ambiental, AyA.

Los resultados de los análisis puntuales de todos los parámetros de las muestras recolectadas, se incluyen dentro de los Anexos del presente informe anual. La consulta de éstos resulta imprescindible para ubicar las fechas y los puntos de muestreo de las evaluaciones en los que se detectaron violaciones al Reglamento de Calidad para el Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S). Si bien es cierto, las evaluaciones puntuales por

sí solas, no definen la calidad del agua suministrada, éstas son fundamentales para detectar los problemas sanitarios que producen su deterioro. Para efectos de generar evaluaciones de riesgo, el presente informe deberá analizarse de forma paralela con la información procedente de las inspecciones sanitarias.

1.1. Objetivo General

Evaluar la calidad del agua de consumo en los acueductos operados por AyA durante el 2016, de acuerdo con los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos en el Reglamento de Calidad para el Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924- S); con el propósito de generar un instrumento de referencia para la toma de acciones correctivas y estructuración de planes de inversión, y de esta forma, promover una mejora continua del servicio de abastecimiento ofrecido por AyA.

1.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el cumplimiento de la reglamentación vigente y el desempeño de la labor de operación y distribución de agua de consumo en acueductos operados por AyA.
- Calcular la cobertura de agua de calidad potable en los acueductos operados por AyA en el 2016.
- Identificar las deficiencias sanitarias que pueden alterar la calidad del agua en los acueductos.
- Retroalimentar los programas de planificación y ejecución de recolección de muestras de agua y de análisis microbiológicos y físico-químicos.
- Localizar los acueductos susceptibles a la contaminación, que representan un riesgo para la salud de los usuarios.

2. METODOLOGÍA

Las especificaciones del muestreo, como el número mínimo número de muestras a recolectar y su frecuencia, además de los criterios de calidad, se basaron en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable Decreto Ejecutivo N° 38924 –S vigente a la fecha.

2.1. Muestreo

Los alcances para el Muestro y Manipulación de las Muestras, se establecen en los apartados AYA-MC-5070 y AYA-MC-5080, del Manual de Calidad del LNA, con referencia a los procedimientos y formularios utilizados. Las muestras son recolectadas y transportadas siguiendo los procedimientos de Muestreo Simple AYA-PT-019; y de Custodia, Recepción, Inspección, Codificación y Desecho de Muestras AYA-PT-021, con el propósito de garantizar que sean representativas de las condiciones de los acueductos. Las evaluaciones del control de la calidad del agua para consumo humano se realizaron en los 204 acueductos operados por las regiones del AyA, durante el 2016, distribuidos en las seis regiones.

En el muestreo microbiológico se incluyen todos los componentes del sistema de abastecimiento, con el propósito de garantizar la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua para consumo humano; se recolectan muestras en las estructuras que conforman las fuentes de abastecimiento (nacientes, pozos, plantas potabilizadoras, ríos, quebradas), tanques de almacenamiento y red de distribución. Sin embargo, la determinación de la calidad del agua de los acueductos, a partir de análisis microbiológicos, se realiza tomando en cuenta solo los muestreos efectuados en la red de distribución.

El reglamento establece un mínimo de muestras que se deben recolectar al año y una frecuencia mínima de muestreo, en función de la población abastecida en cada acueducto. En el Cuadro 2.1.1 se detallan las frecuencias de muestreo y el número mínimo de muestras a recolectar de la red de distribución, según rangos de población abastecida. El reglamento estipula que los acueductos que presenten un historial de calidad potable, pueden optar por una reducción del 50 % en el número de muestras anuales (previa autorización del Ministerio de Salud); condición que fue aplicada para el Acueducto Metropolitano, que presentó una población de 1.125.589 habitantes.

Cuadro 2.1.1. Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras microbiológicas de red a recolectar según población abastecida.

Población abastecida (habitantes)	Red de distribución		Total de muestras mínimas por año de la red de distribución
	Frecuencia	Nº muestras	
<5.000	Semestral	3	6
5.000 a 99.999	Trimestral	3	12
100.000	Mensual*	15	180
100.001 a 200.000	Mensual	15	192
200.001 a 300.000	Mensual	15	204
300.001 a 400.000	Mensual	15	216
400.001 a 499.999	Mensual	15	228
500.000	Diaria**	15	3780
500.001 a 600.000	Diaria	15	3792
600.001 a 700.000	Diaria	15	3804
700.001 a 800.000	Diaria	15	3816
800.001 a 900.000	Diaria	15	3828
900.001 a 1.100.000	Diaria	15	3840
1.000.001 a 1.100.000	Diaria	15	3852
1.100.001 a 1.200.000	Diaria	15	3864
1.200.001 a 1.300.000	Diaria	15	3876
1.300.001 a 1.400.000	Diaria	15	3888
1.400.001 a 1.500.000	Diaria	15	3900

*En frecuencias mensuales mayores a 100.000 habitantes, se adicionan 12 muestras más al año por cada 100.000 habitantes.

**Se cuentan 252 días laborales al año. En frecuencias diarias mayores a 500.000 habitantes se adicionan 12 muestras más al año por cada 100.000 habitantes.

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

En el muestreo físico-químico se incluyen las fuentes de abastecimiento y la red de distribución. En el Cuadro 2.1.2 se detallan las frecuencias de muestreo y el mínimo de muestras a recolectar para los análisis físico-químicos del nivel N1, N2 y N3, de acuerdo a los rangos de población abastecida.

Cuadro 2.1.2. Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras a recolectar para análisis físico-químicos en las fuentes de abastecimiento y red de distribución para los niveles N2 y N3.

Población abastecida (habitantes)	Fuentes de abastecimiento		Red de distribución	
	Frecuencia	N° muestras	Frecuencia	N° muestras
<5.000	Cada 3 años	1 en cada fuente o en la mezcla de fuentes	Cada 3 años	1
5.000 a 100.000	Cada 2 años	1 en cada fuente o en la mezcla de fuentes	Cada 2 años	1
100.001 a 500.000	Anual	1 en cada fuente o en la mezcla de fuentes	Anual	1
>500.000	Trimestral	1 en cada fuente o en la mezcla de fuentes	Trimestral	1

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

2.2. Técnicas de laboratorio

Los procedimientos de análisis se basaron en las directrices del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* edición 22° (American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation, 2012) y los lineamientos del Sistema de Gestión de Calidad, del Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), de conformidad con los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.

2.3. Interpretación de los resultados

El Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo N° 38924-S, contiene los criterios para las evaluaciones microbiológicas y físico-químicas de los sistemas de potabilización, así como de los restantes componentes de los sistemas de abastecimiento, con el propósito de determinar si el agua suministrada es potable.

Para efectos de determinar cuáles acueductos cumplieron con los criterios microbiológicos, se analizaron los resultados obtenidos de los ensayos efectuados en las muestras recolectadas en la red de distribución. El análisis microbiológico se trata de un análisis cualitativo, donde el resultado puntual denota un crecimiento detectable (positivo) o no detectable (negativo) para coliformes fecales y *Escherichia coli*. Para evaluar un acueducto se

consideró el porcentaje de los análisis negativos respecto al total de análisis realizados durante el año para cada acueducto. En el artículo 12, inciso d, del reglamento vigente, se establece el criterio de cumplimiento de la normativa para los acueductos clorados:

“El agua potable cumple los criterios de la calidad microbiológica en aquellos sistemas de suministro de agua, donde se tenga que recolectar menos de 10 muestras en los seis meses, si la negatividad es igual o superior al 90 % y en los que se recolectan más de 10 muestras si es igual o superior al 95 %, tanto para coliformes fecales como para *Escherichia coli*.”
















No obstante, las Guías para la calidad de agua potable, tercera edición (OMS, 2013), específicamente en la sección 5.5.2 *Uso de los datos en el ámbito regional* (ver Anexo 1), establece que el porcentaje de negatividad con que se evalúan los acueductos, varía en función de la población abastecida, independientemente del número de muestras que hayan sido recolectadas al año. La cantidad de muestras recolectadas al año va a depender de la población abastecida y de otras situaciones de vulnerabilidad; como es el caso de los acueductos que presentaron planta potabilizadora de tratamiento convencional, donde la frecuencia pasa a ser como mínimo mensual. Por lo tanto, varios acueductos presentaron una cantidad de muestras recolectadas superior al mínimo estipulado en el reglamento (ver Cuadro 2.1.1). En vista de lo anterior, el LNA interpreta los criterios microbiológicos de la siguiente forma:

- El agua potable cumple los criterios de la calidad microbiológica en aquellos sistemas de suministro de agua, cuya población abastecida es inferior a 5.000 habitantes, si la negatividad es igual o superior al 90 % para coliformes fecales; y en los sistemas que abastecen a poblaciones iguales o superiores a 5.000 habitantes, si la negatividad es igual o superior al 95 %.
- En los acueductos no clorados, el agua cumplió con los criterios microbiológicos cuando, en al menos el 80 % de las muestras recolectadas durante el año, no se detectó la presencia de *E. coli*.

La clasificación de la calidad microbiológica del agua, se basó en el Código de Colores, elaborado por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) en 1993. Dicho código califica la calidad

del agua en cinco niveles: excelente (azul), buena (verde), regular (amarillo), mala (anaranjado) y muy mala (rojo). Los criterios de clasificación varían según se aplique cloración o no: los acueductos clorados se rigen por los porcentajes de negatividad por coliformes fecales; mientras que, los no clorados, se basan en el promedio geométrico (Xg). El Cuadro 2.3.1 explica la metodología para la clasificación de la calidad microbiológica por el Código de Colores.

Cuadro 2.3.1. Código de colores para clasificar la calidad microbiológica del agua para consumo humano en la red de distribución.

Sistemas clorados				Sistemas no clorados	
>20 muestras anuales		≤20 muestras anuales		Xg coliformes fecales (UFC/100 ml)	Código
% negatividad por coliformes fecales	Código	% negatividad por coliformes fecales	Código		
95-100		90-100		0-4*	
90-94,5		80-89,5		5-10	
75-89,5		70-79,5		11-50	
60-74,5		60-69,5		51-100	
<60		<60		≥101	

*Siempre y cuando al menos un 80 % de las muestras evaluadas presenten negatividad por *E. coli*.

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

Para determinar la calidad del agua de los acueductos, a partir de análisis físico-químicos, se tomaron en cuenta, tanto los puntos de la red de distribución, como las fuentes de abastecimiento. Los resultados de los parámetros físico-químicos se evaluaron contra el VMA, establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable Decreto Ejecutivo N° 38924 -S. Para determinar cuáles acueductos cumplieron con los criterios, se analizaron los promedios aritméticos de los parámetros evaluados en las muestras recolectadas en la red de distribución. Los análisis de los parámetros son de índole cuantitativo, ya que los criterios se basan en valores máximos de concentración en el agua. Cuando en un acueducto, alguno de los parámetros que representan un riesgo para la salud del consumidor superara el VMA, el acueducto se consideró de calidad no potable. Cabe resaltar, que el criterio profesional de expertos fue crucial para determinar la potabilidad del agua de un acueducto.

Los resultados de los parámetros físico-químicos están dispuestos en cuadros, en donde se indica fecha de muestreo, nombre del sistema (fuente o sector), provincia, cantón y punto de recolección de las muestras (ver Apéndices). Se mencionan los sistemas cuya agua presentó incumplimiento de los criterios, además de observaciones respecto a los parámetros evaluados. Los resultados constan de dos documentos: un resumen sobre la calidad de las aguas y los Apéndices con todos los análisis recopilados. El resumen se compone de dos secciones, que incluyen los parámetros que presentaron incumplimiento porque su valor es superior al VMA, y los reclamos por parte de los usuarios sobre la calidad del agua suministrada que se hayan realizado.

Los VMA establecidos por el Decreto Ejecutivo No. 38924-S se detallan en los Cuadros 2.3.2. al 2.3.5.

Cuadro 2.3.2. Parámetros de calidad del agua control operativo (CO).

Parámetro de aceptabilidad	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Turbiedad	U.N.T.	1,00	5,00
Olor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
pH	-	6,00	8,00
Cloro residual libre	mg/L	0,30	0,60

Para el parámetro de pH se establecen rangos permisibles y no VA ni VMA.

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

Cuadro 2.3.3. Parámetros de calidad del agua nivel primero (N1).

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Color Aparente	UPt-Co	5	15
Temperatura	°C		≥30
Conductividad	μS/cm	400	-
Cloro residual libre	mg/L	0,30	0,60

Para los parámetros temperatura y cloro residual libre se establecen rangos permisibles y no VA ni VMA.

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

Cuadro 2.3.4. Parámetros de calidad del Agua nivel segundo (N2).

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Aluminio	µg/L	-	200,0
Calcio	mg/L	-	100,0
Cloruro	mg/L	25,00	250,00
Cobre	µg/L	1000,0	2000,0
Dureza Total	mg/L	300	400
Fluoruro	mg/L	-	0,70 a 1,50
Hierro	µg/L	-	300,0*
Magnesio	mg/L	30,0	50,0
Manganeso	µg/L	100,0	500,0*
Potasio	mg/L	-	10,0
Sodio	mg/L	25,0	200,0
Sulfato	mg/L	25,0	250,0
Zinc	µg/L	-	3000,0

*En aguas subterráneas donde se encuentran estos dos metales el VMA (Fe + Mn) es 300 µg/L.

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

Cuadro 2.3.5. Parámetros de calidad del agua nivel tercero (N3).

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (V.A)	Valor Máximo Admisible (V.M.A.)
Amonio	mg/L	0,05	0,50
Antimonio	µg/L	-	5,0
Arsénico	µg/L	-	10,0
Cadmio	µg/L	-	3,0
Cromo	µg/L	-	50,0
Mercurio	µg/L	-	1,0
Níquel	µg/L	-	20,0
Nitrato	mg/L	25,00	50,00
Nitrito	mg/L	-	0,10
Plomo	µg/L	-	10,0
Selenio	µg/L	-	10,0

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR REGIÓN

3.1. Región Área Metropolitana

3.1.1. Discusión

En el 2016, la Región Área Metropolitana (RAM) le suministró agua al 54,4 % (1.255.199 personas) del total de la población abastecida por AyA (Cuadro 4.2), mediante 31 acueductos clorados y nueve no clorados. De estos 40 acueductos, 27 suministraron agua que cumple con los criterios de calidad microbiológica a 1.246.290 personas. De los 31 acueductos clorados, cuatro suministraron agua que no cumple los criterios microbiológicos; mientras que, los nueve acueductos no clorados suministraron agua que no cumple con los criterios microbiológicos. Ver Cuadros del 4.1 al 4.5 para un mayor detalle de la información.

La RAM es la región de mayor complejidad, debido a su alta densidad poblacional y a la distribución de sus acueductos. La gran mayoría de los acueductos se encuentran interconectados por válvulas, y en la red de distribución se entremezcla el agua proveniente de los distintos acueductos. Para efectos de un mejor análisis de la información, el presente informe hace la distinción entre el Acueducto Metropolitano (compuesto por 13 subsistemas interconectados entre sí) y los acueductos periféricos.

El Acueducto Metropolitano abastece una población de 1.125.589 habitantes y se compone de 13 subsistemas clorados; los subsistemas se enumeran y se describe su calidad en el Cuadro 3.1.4. El acueducto presentó una negatividad por presencia de coliformes fecales de 99,6 %; lo que significa, según lo establecen las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2013), que un 100 % de la población recibió agua que cumple con los criterios de calidad microbiológica.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados, tanto de fuentes de abastecimiento, como red de distribución del Acueducto Metropolitano cumplen en su mayoría con los criterios establecidos en el Decreto Ejecutivo N° 38924 -S. Los parámetros que presentaron incumplimiento, se detallan en los Cuadros 3.1.1 al 3.1.2; en el Cuadro 3.1.3 se detalla la calidad de los subsistemas. Los reportes puntuales se observan en los Apéndices.

Cuadro 3.1.1. Subsistemas con concentraciones de cloro residual libre inferiores al rango inferior admisible (< 0,30 mg/L)

Fecha de muestreo	Subsistema	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
29/01/2016	ME-A-17-La Valencia	Flores	Cond. Vertical	0,05
09/02/2016			Res. comercial Quinta 106	0,05
26/07/2016		San José	Villa Esperanza	0,28
21/06/2016	ME-A-01-Tres Ríos	Montes de Oca	San Pedro	0,15

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.1.2. Subsistemas con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
01/09/2016	ME-A-09.1-Alajuelita	Alajuelita	Clorada	277,1
07/09/2017				324,2
30/05/2017	ME-A-01-Tres Ríos	Montes de Oca	La Granja	278,5
07/06/2016		La Unión	Clorada	365,0
21/06/2016			San Juan	272,8
01/04/2016	ME-A-02-Guadalupe	Goicoechea	Clorada	497,9
18/07/2016				304,5
13/09/2016				908,5
18/07/2016				El Alto
22/06/2016	ME-A-10-Mata de Plátano	Goicoechea	Clorada	490,4
08/09/2016				236,4
01/04/2016	Los Sitios	Moravia	Clorada	206,3
21/05/2016				423,8
21/05/2016				258,9
27/05/2016				Sitios
14/06/2016	ME-A-08-Los Cuadros	Goicoechea	Clorada	303,4

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.1.3. Calidad según criterios microbiológicos de los subsistemas clorados del Acueducto Metropolitano de la Región Área Metropolitana para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Subsistemas clorados			
San José			
San José			
ME-A-09.1-Alajuelita	97	Azul	7795
ME-A-02-Guadalupe	98	Azul	76175
ME-A-17-La Valencia	100	Azul	208807
ME-A-08-Los Cuadros	98	Azul	27187
ME-A-04-Los Sitios	100	Azul	115125
ME-A-10-Mata de Plátano	100	Azul	7280
ME-A-20-Padre Carazo	100	Azul	3524
ME-A-22-Pizote	100	Azul	10134
ME-A-16.1-Potrерillos-San Antonio	100	Azul	26298
ME-A-19.1-Puente de Mulas	100	Azul	113763
ME-A-13-San Jerónimo	100	Azul	4664
ME-A-06.1-San Juan de Dios	100	Azul	33331
ME-A-01-Tres Ríos	100	Azul	491506
Acueducto Metropolitano*	99,84	Azul	1125589

*Incluye todos los anteriores subsistemas.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

Existen 39 acueductos periféricos dentro de la RAM que abastecieron a 129.610 habitantes en el 2016. De este total, unos 120.701 habitantes (93,1 %) recibieron agua que cumplió con los criterios microbiológicos. El 97,1 % de la población abastecida por acueductos periféricos recibió agua con cloración por medio de 30 acueductos; 26 de éstos, suministraron agua, que cumple con los criterios de calidad microbiológica, al 96,0 % de la población abastecida por acueductos periféricos clorados. Los nueve acueductos no clorados, suministraron agua que incumple con los criterios de calidad microbiológica, abasteciendo así a 3.795 habitantes.

Cuadro 3.1.4. Acueductos con concentraciones de cloro residual libre inferiores al Valor Máximo Admisible (< 0,30 mg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
25/02/2016	ME-A-25.1-Bebedero de Escazú: Sector Pozo Bebedero	Escazú	Condominio Doña Carmen	0,27
05/05/2016	ME-A-5.1-Santa Ana Planta de Tratamiento	Santa Ana	Calle Montoya	0,18
27/09/2016			Perico	0,29
27/05/2016	ME-A-29-San Antonio de Escazú: Naciente Lajas	Escazú	Red 3	0,00
14/10/2016	ME-A-21-Chiverrales	Vásquez de Coronado	Finca Holanda	0,23
			Patio de Agua Arriba	0,20
18/01/2016	ME-A-26-Quebrada Honda de Ciudad Colón	Mora	Ticufres	0,07
23/07/2016				0,24
18/01/2016	ME-A-12-San Bosco de Ciudad Colón	Mora	Red 3	0,20
28/05/2016	ME-A-15-San Pablo de Heredia	Barva	Las Cruces	0,28
18/10/2016	ME-A-24.2-El Berral de Matinilla	Santa Ana	Red 2	0,11
			Red 1	0,17
18/10/2016	ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla	Santa Ana	Red 1	0,05
			Red 3	0,05
18/10/2016	ME-A-19.2-Bella Vista y el Triunfo de Santa Ana	Santa Ana	El Triunfo 2	0,11
			Bella Vista	0,15
			El Triunfo 1	0,13
21/09/2016	ME-A-27.6-Planta Potabilizadora Las Catalinas de Tejar	El Guarco	Residencial Las Catalinas	0,19
29/07/2016	ME-A-27.3-Mezcla de Pozos Silos 1, 2 y 3 de Tejar	El Guarco	Calle Santa Rita	0,05
06/08/2016			Villa Andrea	0,23
06/08/2016			Calle La Asunción	0,26
06/08/2016			Urbanización María del Rosario	0,25
20/09/2016			Urbanización El Silo	0,02
20/09/2016			La Colonia	0,01
07/09/2016			ME-A-27.2-Barrancas-Tablón	El Guarco

Cuadro 3.1.4. Acueductos con concentraciones de cloro residual libre inferiores al Valor Máximo Admisible (< 0,30 mg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
	de Tejar			

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.1.5. Acueductos con niveles de color aparente superiores al Valor Máximo Admisible (> 15,00 UPt-Co).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (UPt-Co)
27/05/2016	ME-A-25.5-Calle Higuerones de Escazú	Escazú	Sector Calle a La Naciente	21

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.1.6. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (UNT)
27/05/2016	ME-A-25.5-Calle Higuerones de Escazú	Escazú	Sector Calle a La Naciente	5,40
18/10/2016	ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla	Santa Ana	Red 1	6,40
			Red 3	6,30
			Red 2	5,90
16/09/2016	ME-A-18-Lámparas de San Antonio de Alajuelita	Alajuelita	Red 1	5,25
			Red 2	10,30
			Red 4	5,69

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.1.7. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
18/10/2016	ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla	Santa Ana	Red 2	259,6
12/10/2016	ME-A-05.1-Santa Ana:	Santa Ana	Clorada	252,8

Cuadro 3.1.7. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
29/06/2016	Planta de Salitral		Calle Montoya	422,8
27/09/2016			Paso Machete	261,1
11/10/2016	ME-A-27.4-Planta Potabilizadora Hacienda Vieja de Tejar	El Guarco	Clorada	219,8

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Los resultados de los análisis físico-químicos efectuados, tanto de fuentes de abastecimiento como red de distribución, de los acueductos periféricos, en su mayoría cumplen con los criterios establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Los parámetros que presentaron incumplimiento, se detallan en los Cuadros 3.1.4 al 3.1.7. Los análisis puntuales realizados a lo largo del año, se observan en los Apéndices.

Durante el 2016, se atendieron 88 quejas, de diferentes sectores abastecidos por la RAM. En los Apéndices se muestran los reclamos atendidos: ordenados por cliente, fecha, acueducto, punto de muestreo, dirección exacta, motivo de la queja y los resultados de la inspección de las muestras recolectadas. Los principales motivos de las quejas fueron debido a: color, turbiedad, sabor, sedimentos, ausencia de cloro residual; y en menor grado se debió al mal olor, casos de hepatitis, diarrea y vómito, y presencia de gusanos o lombrices.

En los Cuadros 3.1.8 y 3.1.9 se enumeran los acueductos periféricos clorados y no clorados que cumplieron o no con los criterios microbiológicos.

Cuadro 3.1.8. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos periféricos clorados de la Región Área Metropolitana para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de Población de colores
Acueductos clorados que cumplen		
San José		
Desamparados		

Cuadro 3.1.8. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos periféricos clorados de la Región Área Metropolitana para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
ME-A-11-Guatuso de Patarrá	95	Azul	8463
ME-A-06.2-Urbanización Veracruz de Higuito de San Miguel*	100	Azul	1416
Escazú			
ME-A-25.1-Bebedero de Escazú: Sector Pozo Bebedero*	100	Azul	222
ME-A-07.1-San Antonio de Escazú	100	Azul	10677
Goicoechea			
ME-A-28-Vista de Mar*	100	Azul	2317
Mora			
ME-A-16.2-Brasil de Mora: Sector Abastecido por el Tanque Retana*	100	Azul	123
ME-A-16.3-Brasil de Mora: Sector Abastecido por el Tanque Rodríguez*	100	Azul	77
ME-A-16.4-Brasil de Mora: Sector Abastecido por el Tanque Trinidad*	100	Azul	193
ME-A-26-Quebrada Honda de Ciudad Colón*	100	Azul	2893
ME-A-12-San Bosco de Ciudad Colón*	100	Azul	4326
Santa Ana			
ME-A-23-Barrio España*	100	Azul	725
ME-A-19.2-Bella Vista y el Triunfo de Santa Ana*	100	Azul	732
ME-A-05.2-Chirracal*	100	Azul	154
ME-A-24.2-El Berral de Matinilla*	100	Azul	185
ME-A-05.1-Santa Ana: Sector Abastecido por la Planta de Salitral	100	Azul	19908
Vázquez de Coronado			
ME-A-21-Chiverrales*	100	Azul	4073
ME-A-14-San Rafael y San Pedro de Coronado: Planta de Tratamiento	100	Azul	8033
Cartago			
Guarco			
ME-A-27.1-Barrancas, Tablón e Higuito de Tejar	100	Azul	5089
ME-A-27.2-Barrancas-Tablón de Tejar*	100	Azul	2443
ME-A-27.3-Mezcla de Pozos Silos 1, 2 y 3 de Tejar*	100	Azul	3938
ME-A-27.5-Planta Potabilizadora Higuito del Tejar	100	Azul	5194

Cuadro 3.1.8. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos periféricos clorados de la Región Área Metropolitana para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
ME-A-27.6-Planta Potabilizadora Las Catalinas de Tejar*	94	Azul	3637
ME-A-27.7-Pozo Ana Lucía de Tejar*	100	Azul	1337
ME-A-27.8-Pozo Villa Floresta de Tejar*	100	Azul	1163
ME-A-27.4-Planta Potabilizadora Hacienda Vieja de Tejar	100	Verde	2363
Heredia			
San Pablo			
ME-A-15-San Pablo de Heredia	100	Azul	31020
Acueductos clorados que no cumplen			
San José			
Alajuelita			
ME-A-03.1-El Llano: Sector Planta de Tratamiento	92	Verde	2684
Escazú			
ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú*	0	Rojo	45
ME-A-29-San Antonia de Escazú: Sector Naciente Lajas*	82	Verde	2275
Santa Ana			
ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla*	25	Rojo	110

*Acueductos evaluados con un 90 % de negatividad para ser considerados como de calidad potable.

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.1.9. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos periféricos no clorados de la Región Área Metropolitana para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad <i>Escherichia coli</i>	Xg Coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos no clorados que no cumplen				
San José				
Escazú				
ME-A-25.4-Calle El Alto de Escazú	50	1,94	Verde	110
ME-A-25.3-Bebedero de Escazú: Sector No Clorado	67	1,00	Verde	128

Cuadro 3.1.9. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos periféricos no clorados de la Región Área Metropolitana para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad <i>Escherichia coli</i>	Xg Coliformes fecales	Código de colores	Población
ME-A-25.5-Calle Higuerones de Escazú	0	59,40	Naranja	438
ME-A-25.6-Escazú: Sistema La Mina	11	42,52	Amarillo	875
ME-A-25.8-San Antonio de Escazú: Sector Los Roques	4,32	44	Amarillo	107
Alajuelita				
Linda Vista de San Josecito	50	3,63	Verde	475
El Llano: Sector Naciente La Cascabela	56	2,50	Verde	306
El Llano: Sector Naciente La Cruz	75	2,18	Verde	306
Lámparas de San Antonio de Alajuelita	8	91,19	Naranja	1050

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA

La RAM suministró agua de calidad potable al 99,3 % (1.246.290) de su población abastecida (Cuadro 4.1 y 4.3), mediante 27 acueductos, lo que equivale al 55,4 % de la población total abastecida por AyA (Cuadro 4.2). De los restantes 13 acueductos que presentaron calidad de agua no potable, aproximadamente solo una cuarta parte fueron clorados. La totalidad de los acueductos no clorados fueron de calidad no potable; éstos abastecieron a una pequeña porción de la población de la RAM (3795 habitantes), que equivale al 0,3 % de la población total de la RAM.

La calidad no potable del agua de la RAM se debió únicamente al incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica. La totalidad de la población abastecida por el Acueducto Metropolitano recibió agua de calidad potable.

De acuerdo con la clasificación por el Código de Colores, todos los subsistemas que conforman el Acueducto Metropolitano obtuvieron la calificación más alta (azul). Para la RAM en general, incluyendo Acueducto Metropolitano y acueductos periféricos, el 99,1 % de la población abastecida recibió agua de calidad excelente (nivel azul); 0,7 % buena (nivel verde); 0,1 % intermedia (nivel amarillo), y 0,1 % mala (nivel naranja). De los 40 acueductos totales (31 clorados y nueve no clorados), en el nivel azul se ubicaron 26 clorados; en el verde se ubicaron tres clorados y cinco no clorados; en el amarillo dos no clorados; en el naranja dos

no clorados; y en el rojo dos clorados. Resulta evidente la acción desinfectante del cloro en la calidad del agua, siendo la mayoría de los acueductos clorados de calidad excelente.

La RAM presentó la mayor cantidad de fuentes de abastecimiento superficiales (28 fuentes), y la mayor proporción, correspondiendo un 25 % a fuentes superficiales, un 30 % a subsuperficiales y un 45 % a subterráneas (Cuadro 1.2). De acuerdo al estudio realizado en fuentes de abastecimiento de AyA durante el 2015, los parámetros microbiológicos presentaron un papel más relevante en comparación a los físico-químicos, a la hora de determinar la calidad de las fuentes de abastecimiento superficiales (Orozco & Solís, 2016). Las fuentes superficiales están expuestas a variaciones intermitentes, que responden a las condiciones climatológicas, uso de suelos y cobertura del bosque desde el área de influencia hasta el punto de captación; en consecuencia, el consumo del agua superficial sin previo tratamiento representa un alto riesgo para la salud.

Aun cuando la población de la RAM abastecida por acueductos no clorados fue considerablemente baja (0,3 %), el número de acueductos fue relativamente alto (9 no clorados vs. 31 clorados) (Cuadro 1.1). Los acueductos no clorados se ubican en los cantones de Escazú y Alajuelita, y la totalidad de estos acueductos suministró agua de calidad no potable (Cuadro 4.5). Muchos de estos acueductos presentan fuentes superficiales de muy bajo caudal, que se captan y se envían directamente a la red de distribución sin tratamiento alguno, ya que no cuentan con infraestructura de potabilización apropiada para tratar el agua.

El agua de las fuentes subsuperficiales y subterráneas, normalmente no presenta niveles altos de turbiedad, y se podría aplicar cloración sin un tratamiento previo para remover la materia orgánica y sedimentos. En cambio, las fuentes superficiales se encuentran expuestas a la contaminación y precisan de un tratamiento previo (para bajar turbiedad y color) antes de aplicar cloración. La alta turbiedad en el agua es un factor que imposibilita la cloración, debido a que la acción del cloro se vuelve ineficiente, logrando pasar desapercibidos los microorganismos entre la materia orgánica (Husseini, y otros, 2015). El reglamento establece un valor de alerta de 1 UNT y un valor máximo admisible de 5 UNT.

Los acueductos no clorados ME-A-25.5-Calle Higuierones de Escazú (abastecido por la Quebrada Teodoro Corrales) y ME-A-18-Lámparas de San Antonio de Alajuelita (abastecido por Río Lajas) presentaron niveles de turbiedad superiores al admisible; adicionalmente, ME-

A-25.5-Calle Higuerones de Escazú presentó altos niveles de color (>15 UPt-Co). Los acueductos no clorados de ME-A-03.3-El Llano: Sector Naciente La Cruz y ME-A-03.2-El Llano: Sector Naciente La Cascabela, ambos son abastecidos por quebradas (Quebrada La Cruz y Quebrada La Cascabela respectivamente); no obstante, en un inicio se operaron como nacientes (fuentes subsuperficiales), por lo que no se les aplicó el tratamiento de potabilización requerido para aguas superficiales. El agua de estos acueductos no clorados abastecidos por fuentes superficiales, no puede ser desinfectada con cloro hasta no recibir el tratamiento apropiado; ya que es necesario reducir la turbiedad para que la desinfección sea eficiente.

De los 31 acueductos clorados de la RAM, cuatro suministraron agua que incumplió con los criterios microbiológicos; dichos acueductos fueron: ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú, ME-A-29-San Antonio de Escazú: Sector Naciente Lajas, ME-A-03.1-El Llano: Planta de Tratamiento, del cantón de Alajuelita, y ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla, del cantón de Santa Ana. En el agua de estos acueductos se detectó la presencia de coliformes fecales, aun cuando presentaron cloración. Esto puede indicar un deficiente tratamiento de desinfección, dosificación de cloro inadecuada, tiempo insuficiente de contacto entre el agua y el cloro, falta de continuidad del proceso de desinfección, posibilidad de una contaminación posterior al tratamiento; también, se debe considerar que en las zonas de bajo consumo, donde el agua permanece por bastante tiempo en la tubería, son más propensas a contaminarse; falta de limpieza de la tubería, conexiones cruzadas, falta de continuidad del servicio y zonas de baja presión.

El acueducto ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla presentó niveles de turbiedad superiores al admisible, tanto en su fuente de abastecimiento superficial, como en la red de distribución. Al no contar con una planta potabilizadora de tratamiento convencional, se dificulta la posibilidad de una eficiente desinfección con cloro.

El acueducto ME-A-29-San Antonio de Escazú: Sector Naciente Lajas presentó una positividad por cloro y una negatividad por presencia de indicadores fecales de 25 % y 75 % respectivamente. De acuerdo con la información brindada por la UEN de Producción y Distribución de la RAM, la toma de la Naciente Lajas se encuentra actualmente en condiciones deplorables, como consecuencia del derrumbe ocurrido en la zona, el cuatro de noviembre del 2010, luego de intensas lluvias generadas por el impacto indirecto del huracán *Tomas* (Vargas M., 2010).

El acueducto ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú es abastecido por la Quebrada Secundino, la cual no presentó valores elevados de turbiedad, pero no se detectó cloro residual en ninguna de las muestras (positividad por cloro de 0 %), y hubo presencia de coliformes fecales en todas las muestras (negatividad de 0 %).

La planta de tratamiento que abastece al acueducto ME-A-03.1-EI Llano: Planta de Tratamiento, no está cumpliendo su función potabilizadora. El agua cruda que ingresa a la planta no presentó valores de turbiedad altos, pero tres de las 37 muestras recolectadas, dieron positivo para coliformes fecales, de las cuales dos presentaron cloros por debajo de 0,3 mg/L; lo que sugiere que hubo deficiencias en el proceso de desinfección.

La presencia del cloro en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales, ni la ausencia de cloro supone la presencia de los microorganismos. Sin embargo, se hace evidente la acción del cloro, cuando se compara la negatividad por coliformes fecales entre los acueductos clorados (alta negatividad) y los no clorados (baja negatividad).

La ingesta de agua superficial sin el tratamiento adecuado, implica un grave riesgo para la salud de los consumidores, debido a que la calidad del agua es muy variable: depende de las condiciones climatológicas, uso de suelo y cobertura de bosque, desde el área de influencia, hasta el punto de captación. El artículo 18 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S) estipula que:

“Toda agua superficial utilizada para suministro de agua potable, debe recibir el tratamiento previo que la haga cumplir con los VMA establecidos en el presente reglamento, de igual manera se debe garantizar la eficiencia de la desinfección.”

Tampoco resulta conveniente mezclar agua superficial sin tratamiento convencional con agua subterránea en un sistema de abastecimiento de agua potable. Esto debido a que la calidad del agua superficial es muy variable, y varía según las condiciones climatológicas, uso de suelos y cobertura de bosque en el área de influencia al punto de captación.

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral. A pesar de que varios estudios epidemiológicos han demostrado una relación positiva entre la ingesta de aluminio

en el agua y la enfermedad de Alzheimer, el riesgo de desarrollar la enfermedad bajo una exposición de aluminio en el agua de consumo en concentraciones superiores a 100 µg/L, pareciera ser bajo. El grado de absorción de aluminio mediante la ingesta de agua permanece incierta, ya que depende de parámetros, como el pH para la especiación y solubilidad del aluminio (OMS, 2011). El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en el reporte 67^a del 2011, estableció la ingesta semanal tolerable provisional (*Provisional Tolerable Weekly Intake: PTWI*) de aluminio en 1 mg/kg. Con base en las especificaciones de las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), donde se le atribuye un 20 % del PTWI al agua para consumo y usan como referencia un adulto de 60 kg que ingiere al día 2 L de agua, se obtiene un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 0,9 mg/L.

El sulfato de aluminio se utiliza como coagulante-floculante en las plantas potabilizadoras de tratamiento convencional, para disminuir la turbiedad y la carga de microorganismos (OMS, 2011); pero su uso suele aumentar las concentraciones de aluminio en el agua tratada. Un residual de sulfato de aluminio en el agua tratada puede generar rechazo de la misma por parte de los consumidores, debido a la deposición de flóculos en la red de distribución; ya que el coagulante continua interactuando con las partículas en el agua (OMS, 2011).

El incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de la mayoría de las plantas potabilizadoras, indica una posible sobredosificación de sulfato de aluminio. Estas concentraciones no sobrepasaron el valor de riesgo para la salud, definido por la OMS en el 2011; por lo tanto, el agua clorada de las plantas se consideró potable.

En el 2016, el porcentaje de población de la RAM abastecida con agua de calidad potable disminuyó 0,1 % con respecto al del 2015 (Figura 4.1). El porcentaje de potabilidad del agua se ha venido incrementando en los últimos cinco años.

3.1.2. Conclusiones

- La RAM suministró, mediante 27 acueductos, agua de calidad potable a 1.246.290 de habitantes, lo que equivale al 99,3 % de la población de la región, y al 55,4 % de la población total abastecida por AyA.

- De los 31 acueductos clorados, 4 suministraron agua de calidad no potable:
 - ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú
 - ME-A-29-San Antonio de Escazú: Sector Naciente Lajas
 - ME-A-03.1-El Llano: Planta de Tratamiento
 - ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla

- Los nueve acueductos no clorados suministraron agua de calidad no potable.

- El agua de la totalidad del Acueducto Metropolitano se consideró de calidad potable.

- La calidad no potable del agua de la RAM se debió al incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica.

- La acción desinfectante del cloro desempeñó un papel importante en la calidad microbiológica del agua, dado que la mayoría de los acueductos clorados fueron de calidad potable; mientras que, la totalidad de los no clorados fueron de calidad no potable.

- La presencia del cloro residual en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales, ni la ausencia de cloro supone la presencia de los microorganismos.

- La falta de un tratamiento de desinfección del agua proveniente de las fuentes de abastecimiento (principalmente en aguas superficiales) y la ausencia de cloro residual libre en el agua de la red de distribución, representan un factor de alto riesgo por contaminación microbiana.

- El incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de las plantas potabilizadoras, indica una posible sobredosificación de sulfato de aluminio.

- En el 2016, el porcentaje de población de la RAM abastecida con agua de calidad potable disminuyó 0,2 % con respecto al del 2015. El porcentaje de potabilidad del agua se ha venido incrementando en los últimos cinco años.

3.1.3. Recomendaciones

- Sacar de operación las fuentes superficiales que no reciben tratamiento convencional (acueductos no clorados), cuando el agua de éstas presenta alta turbiedad; como el caso del acueducto clorado ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú.
- Diluir el agua de las fuentes con altos niveles de turbiedad con agua proveniente de otras fuentes de calidad potable, antes de ingresar a la red de distribución; con el propósito de reducir los niveles de turbiedad y contaminación. De no ser posible, remplazar la fuente por una nueva de calidad potable.
- Buscar nuevas fuentes de abastecimiento que permitan una producción continua de agua de excelente calidad, de un caudal suficiente para abastecer la demanda.
- Evaluar la factibilidad de aplicar un tratamiento convencional al agua de fuentes superficiales no cloradas, de los cantones de Alajuelita y Escazú. Mientras tanto, implementar un programa de desinfecciones periódicas en los acueductos no clorados, donde se haya detectado la presencia de indicadores de contaminación microbiológica, siempre y cuando los niveles de turbiedad no excedan el valor máximo admisible (>5 UNT).
- Implementar medidas de protección en las zonas aledañas a las fuentes de abastecimiento superficial o zonas de protección, con el propósito de evitar la contaminación del agua; con el fin de obtener una mejora en la calidad del agua y disminución en los costos de potabilización del agua.
- Verificar los procesos de cloración en los acueductos clorados, donde se detecta presencia de indicadores fecales: adecuada dosificación de cloro y suficiente tiempo de contacto con el agua, continuidad en el proceso de desinfección, limpieza de tuberías y tanques.
- Controlar de manera adecuada la dosificación de sulfato de aluminio y el valor del pH durante el proceso de coagulación-floculación en las plantas potabilizadoras convencionales, para evitar el incumplimiento de la concentración de aluminio en el

agua clorada de la red de distribución y el gasto innecesario del floculante.

3.2. Región Huertar Atlántica

3.2.1. Discusión

En el 2016, la Región Huertar Atlántica (RHA) le suministró agua al 10,0 % del total de la población abastecida por AyA (230.342 personas) (Cuadro 4.2), mediante 14 acueductos clorados y dos no clorados. Todos los acueductos clorados cumplieron con los criterios de los parámetros microbiológicos; mientras que, de los dos acueductos no clorados, uno no cumplió con estos criterios. Este acueducto fue HA-A-14.2-Barrio Los Ángeles (sector no clorado), ubicado en el cantón de Pococí, el único acueducto que suministró agua de calidad no potable debido al incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica.

El acueducto HA-A-14.2-Barrio Los Ángeles (sector no clorado), suministró agua no clorada a 1700 personas (99,4 % de la población de acueductos no clorados) (Cuadro 4.5), lo que representa solo un 0,7 % de la población total de la región. Dicho acueducto fue abastecido con agua sin desinfección proveniente de La Naciente Numancia 1; ésta es la misma naciente que abasteció al acueducto HA-A-14.1-Guápiles-La Rita-Roxana-San Antonio, después de haber sido clorada el agua.

De acuerdo con la clasificación por el Código de Colores, el 99,3 % de la población de la región fue abastecida con agua de calidad excelente (nivel azul), y 0,7 % buena (nivel verde); ningún acueducto suministró agua calificada como de nivel amarillo (regular), naranja (mala) ni rojo (muy mala). De los 16 acueductos totales, en el nivel azul se ubicaron los 14 clorados más uno no clorado; y en el verde se ubicó el acueducto no clorado restante. Resulta evidente la acción desinfectante del cloro en la calidad del agua, siendo la totalidad de los acueductos clorados de calidad excelente.

Para el 2016, el 94 % de las fuentes de abastecimiento de la RHA fueron nacientes y pozos (fuentes subsuperficiales y subterráneas respectivamente), y solo un 6 % correspondió a fuentes superficiales (Cuadro 1.2). Según al estudio realizado por Orozco y Solís (2016), los parámetros físico-químicos juegan un papel más relevante en comparación a los microbiológicos, a la hora de determinar la calidad de las fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados, tanto de fuentes de abastecimiento, como de red de distribución, cumplen en su mayoría con los criterios establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo N° 32327-S y Decreto Ejecutivo N° 38924 -S. En los Cuadros 3.2.1 al 3.2.4, se presenta el resumen de los parámetros que presentaron incumplimiento en la red de distribución y sobre los cuales la región debe poner atención. Los análisis puntuales realizados a lo largo del año, se observan en los Apéndices.

Durante el 2016, se atendió una queja en el sector abastecido por el acueducto HA-A-12-Guácimo-Río Jiménez en la RHA. En los Apéndices se muestra el detalle de la queja: cliente, fecha, acueducto, punto de muestreo, dirección exacta, motivo de la queja y los resultados de la inspección de la muestra recolectada. El motivo de la queja fue por turbiedad y sedimentos en el agua.

Cuadro 3.2.1. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
05/09/2016	HA-A-09-Siquirres	Siquirres	Oficina del AyA	351,8
27/06/2016			San Martín	233
15/06/2016	HA-A-03-Limón	Limón	Vista de Mar	256,7

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.2.2. Acueductos con concentraciones de hierro superiores al Valor Máximo Admisible (> 300,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
10/11/2016	HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek- Puerto Viejo	Talamanca	Puerto Viejo	517
11/05/2016			Red 3	488,3

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.2.3. Acueductos con concentraciones de manganeso superior al Valor Máximo Admisible (> 500,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
11/05/2016	HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek- Puerto Viejo	Talamanca	Red 3	781,4
10/08/2016			Puerto Viejo	623,7
10/11/2016			Hone Creek	611,6
10/11/2016			Carbón	646
10/11/2016			Puerto Viejo	793,4

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.2.4. Acueductos en los que se debe poner atención al nivel de conductividad eléctrica (> 500 µS/cm).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
10/08/2016	HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo	Talamanca	Puerto Viejo	763

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

En los Cuadros 3.2.5 y 3.2.6 se enumeran los acueductos clorados y no clorados que cumplieron o no con los criterios de los parámetros microbiológicos.

Cuadro 3.2.5. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Huetaar Atlántica para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos clorados que cumplen			
Limón			
Limón			
HA-A-05-La Guaría del Valle de La Estrella*	100	Azul	1841
HA-A-03-Limón	100	Azul	63216
HA-A-La Bomba*	100	Azul	1054
Pococí			
HA-A-13-Cariari-Anita Grande	100	Azul	25235
HA-A-14.1-Guápiles-La Rita-Roxana-San Antonio	100	Azul	61856

Cuadro 3.2.5. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Huetar Atlántica para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Siquirres			
HA-A-10-Madre de Dios*	100	Azul	641
HA-A-09-Siquirres	100	Azul	24570
Talamanca			
HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo*	100	Azul	4570
HA-A-02-Cahuita*	100	Azul	988
Matina			
HA-A-08-Batán-Veintiocho Millas	100	Azul	10438
HA-A-06-Estrada-Matina*	100	Azul	4093
HA-A-07-Luzón-Santa Marta*	100	Azul	1818
Guácimo			
HA-A-12-Guácimo-Río Jiménez	100	Azul	24089
HA-A-11.1-Pocora*	100	Azul	4223

*Acueductos evaluados con un 90 % de negatividad para ser considerados como de calidad potable.

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.2.6. Calidad microbiológica de los acueductos no clorados de la Región Huetar Atlántica para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad <i>Escherichia coli</i>	Xg Coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos no clorados que cumplen				
Limón				
Guácimo				
HA-A-11.2-Las Delicias de Pocora	100	Negativo	Azul	10
Acueductos no clorados que no cumplen				
Pococí				
Barrio Los Ángeles (sector no clorado)	64	2	Verde	1700

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

De los 16 acueductos de la RHA, 15 suministraron agua de calidad potable a 228.642 habitantes, equivalente al 99,3 % de la población abastecida por la RHA (Cuadro 4.1 y 4.3), lo que corresponde a un 9,9 % de la población total abastecida por AyA (Cuadro 4.2). El restante 0,7 % de la población abastecida por la RHA, recibió agua de calidad no potable mediante un acueducto no clorado previamente mencionado (HA-A-14.2-Barrio Los Ángeles). La calidad

no potable del agua en la RHA se debió únicamente al incumplimiento de los criterios microbiológicos. Ningún acueducto se consideró de calidad no potable, por incumplimiento de parámetros físico-químicos.

El manganeso y el hierro son considerados por las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) como parámetros, cuya presencia en el agua de consumo, puede afectar la aceptabilidad de la misma por parte de los consumidores, pero que no representa un riesgo para la salud a las concentraciones normalmente encontradas en el agua de consumo. Las fuentes subterráneas por lo general contienen hierro ferroso (Fe^{+2}), que expuesto al oxígeno del aire y al ácido hipocloroso (utilizado en el proceso de desinfección) se oxida a hierro férrico (Fe^{+3}), otorgándole un color rojizo oscuro al agua y un sabor desagradable para los consumidores. A concentraciones mayores de 300 $\mu\text{g/L}$, el agua puede teñir y dañar tuberías y la ropa cuando se lava. La presencia de manganeso en el agua puede causar acumulación de sedimentos en la red de distribución. Concentraciones superiores a 100 $\mu\text{g/L}$ puede causar un sabor desagradable y causar manchas en la ropa y loza de baños y lavatorios.

El AyA cuenta con una planta de remoción de hierro y manganeso del agua de los pozos Sand Box, que abastecen al acueducto HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo. Los pozos presentan altas concentraciones de hierro y manganeso, situación que no representa un riesgo para la salud de los consumidores, pero sí genera rechazo debido al cambio en las propiedades organolépticas del agua (color, sabor y olor). De acuerdo a los datos recopilados para el 2016, la remoción del hierro fue eficiente, pero no la del manganeso; ya que los puntos de muestreo del agua tratada presentaron concentraciones de manganeso superiores a 500 $\mu\text{g/L}$. El agua del acueducto se consideró de calidad potable, al no ser nociva para la salud de los consumidores; sin embargo, se recomienda prestar atención, ya que el agua podría ser rechazada por los usuarios.

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral. A pesar de que varios estudios epidemiológicos han demostrado una relación positiva entre la ingesta de aluminio en el agua y la enfermedad de Alzheimer, el riesgo de desarrollar la enfermedad bajo una exposición de aluminio en el agua de consumo en concentraciones superiores a 100 $\mu\text{g/L}$, pareciera ser bajo. El grado de absorción de aluminio mediante la ingesta de agua permanece incierta, ya que depende de parámetros, como el pH para la especiación y solubilidad del aluminio (OMS,

2011). El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en el reporte 67^a del 2011, estableció la ingesta semanal tolerable provisional (*Provisional Tolerable Weekly Intake*: PTWI) de aluminio en 1 mg/kg. Con base en las especificaciones de las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), donde se le atribuye un 20 % del PTWI al agua para consumo y usan como referencia un adulto de 60 kg que ingiere al día 2 L de agua, se obtiene un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 0,9 mg/L.

El sulfato de aluminio se utiliza como coagulante-floculante en las plantas potabilizadoras de tratamiento convencional, para disminuir la turbiedad y la carga de microorganismos (OMS, 2011); su uso suele aumentar las concentraciones de aluminio en el agua tratada. Las concentraciones de aluminio de entre (200-400) µg/L en el agua de la red de distribución proveniente de las plantas potabilizadoras de Limón y Siquirres, son posiblemente consecuencia de una sobredosificación del coagulante-floculante durante el proceso. Estas concentraciones en el agua tratada pueden generar rechazo de la misma por parte de los consumidores, debido a la deposición de flóculos provocados por el residual de sulfato de aluminio en la red de distribución, ya que continua interactuando con las partículas en el agua (OMS, 2011). El agua de los acueductos HA-A-09-Siquirres y HA-A-03-Limón se consideró de calidad potable, ya que las concentraciones de aluminio fueron inferiores al valor de referencia de riesgo para la salud establecido por la OMS (900 µg/L). No obstante, la situación de los acueductos no debe pasar desapercibida y podría remediarse optimizando el proceso de tratamiento.

En el 2016, la cobertura de agua potable en la RHA aumentó 3,3 % con respecto al 2015 (Cuadro 4.6). Es importante destacar que el agua proveniente de los Pozos Sand Box durante el 2015, se consideró de calidad no potable al presentar concentraciones de hierro y manganeso; lo que redujo la proporción de población abastecida con agua potable (Figura 4.1).

3.2.2. Conclusiones

- La RHA suministró, mediante 15 acueductos, agua potable a 228.642 habitantes, lo que equivale al 99,26 % de la población de la región, y al 9,9 % de la población total abastecida por AyA.

- La totalidad de los acueductos clorados suministró agua de calidad potable.
- De los dos acueductos no clorados, uno suministró agua de calidad no potable: HA-A-14.2-Barrio Los Ángeles (sector no clorado).
- La acción desinfectante del cloro desempeñó un papel importante en la calidad microbiológica del agua de los acueductos.
- La planta de tratamiento de los pozos de Sand Box son eficientes en cuanto a la remoción de hierro, pero son ineficientes removiendo el manganeso del agua.
- En el agua tratada de las plantas potabilizadoras de Limón y Siquirres se detectaron concentraciones de aluminio ligeramente superiores al Valor Máximo Admisible, lo que indica una posible sobredosificación de sulfato de aluminio durante el proceso de potabilización.
- En el 2016, la cobertura de agua potable en la RHA aumentó 3,3 % con respecto al 2015.

3.2.3. Recomendaciones

- Implementar un sistema de cloración continua en la Naciente Numancia 1 del acueducto Barrio Los Ángeles (sector no clorado); ésta fuente es clorada más adelante para abastecer a otro acueducto. Hasta tanto no se aplique la medida citada, efectuar desinfecciones periódicas en el acueducto.
- Optimizar la oxidación del manganeso en el proceso de remoción de la planta de tratamiento de los Pozos Sand Box, que abastece al acueducto HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo.
- Controlar de manera adecuada la dosificación de sulfato de aluminio y el valor del pH durante el proceso de coagulación-floculación en las plantas de tratamiento de Limón y Siquirres para evitar el incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de la red de distribución.

3.3. Región Chorotega

3.3.1. Discusión

En el 2016, la Región Chorotega (RCH) operó 55 acueductos, que le suministraron agua al 10,4 % del total de la población abastecida por AyA (240.431 personas) (Cuadro 4.2); en todos estos acueductos se aplicó cloración continua. Dos acueductos no cumplieron con los criterios de los parámetros microbiológicos: CH-A-22.2-Buenos Aires de Tilarán y CH-A-45-Montenegro y Agua Caliente de Bagaces; ambos abastecieron a 3.554 personas, lo que equivale aproximadamente al 1,5 % de la población total de la RCH.

Con base en la clasificación por el Código de Colores, el 98,5 % de la población abastecida recibió agua de calidad excelente (nivel azul), y 1,5 % buena (nivel verde); ningún acueducto calificó con agua de nivel amarillo (regular), naranja (mala) ni rojo (muy mala). De los 54 acueductos totales, en el nivel azul se ubicaron 52, y en el verde los dos acueductos restantes.

Para el 2016, la RCH presentó un total de 164 fuentes de abastecimiento, de las cuales un 88 % correspondió a fuentes subterráneas o pozos, un 9 % correspondió a fuentes subsuperficiales (nacientes), y solo un 3 % a fuentes superficiales (ríos y quebradas) (Cuadro 1.2). De acuerdo al estudio realizado por Orozco y Solís (2016), los parámetros físico-químicos presentaron un papel más relevante en comparación a los microbiológicos, a la hora de determinar la calidad de las fuentes de abastecimiento subterráneas del AyA en el 2015.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados, tanto de fuentes de abastecimiento, como de red de distribución, cumplen en su mayoría con los criterios establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo N° 38924 -S. En los Cuadros 3.3.1 al 3.3.11 se presenta el resumen de los parámetros que presentaron incumplimiento en la red de distribución y sobre los cuales la región debe poner atención. Los análisis puntuales realizados a lo largo del año, se observan en los Apéndices.

Cuadro 3.3.1. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).

Fecha de muestreo	Subsistema	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (UNT)
07/03/2016	CH-A-41-La Cruz	La Cruz	San José	32,00
			Cementerio	24,70
			Corazón de Jesús	17,00

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.2. Acueductos con niveles de color aparente superiores al Valor Máximo Admisible (> 15,00 UPt-Co).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (UPt-Co)
07/03/2016	CH-A-41-La Cruz	La Cruz	San José	63,00
			Cementerio	46,00
			Corazón de Jesús	33,00

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.3. Acueductos con niveles de pH menores del rango inferior recomendado (< 6,00).

Fecha de muestreo	Subsistema	Cantón	Punto de muestreo	Resultados
04/06/2015	CH-A-56-Curubandé	Liberia	Red 1	5,45
24/02/2016			Red 2	4,75
24/02/2016			Red 3	4,73
22/08/2016				4,81
22/08/2016			Red 4	4,76
24/08/2016	CH-A-11-Flamingo	Santa Cruz	Red 2	8,41
06/09/2016	CH-A-09-Tempata		Paraíso	8,63
06/09/2016	CH-A-04-Cartagena		El Edén	8,5
06/09/2016	CH-A-39-El Coco	Carrillo	Oficina de AyA	8,5

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.4. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
22/08/2016	CH-A-56-Curubandé de Liberia	Liberia	Red 1	1027,3
23/05/2016	CH-A-50-Liberia	Liberia	Condega	434,9
13/06/2016			La Carreta	282,5

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.5. Acueductos en los que se debe poner atención al nivel de conductividad eléctrica (> 500 µS/cm).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mS/cm)
21/07/2016	CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique	Carrillo	Red 1	9070
21/04/2016				2251
19/01/2016				1108
21/04/2016			Red 2	2251
19/01/2016				1114
21/04/2016				2231
19/01/2016			Red 3	1094
05/09/2016				11090
23/05/2016	CH-A-05-Bolsón-Ortega	Santa Cruz	Red Ortega	975
15/11/2016				981
				864
23/05/2016			Red Bolsón	900
				720
				977
15/11/2016		876		
22/02/2016	CH-A-29-Barbudal de Colorado	Abangares	Red 2	705
10/10/2016	CH-A-18-Jicaral	Puntarenas	Red 1	705
18/04/2016				703

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.6. Acueductos con concentraciones de magnesio superiores al Valor Máximo Admisible (> 50,0 mg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
05/09/2016	CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique	Carrillo	Panamá	658,5
21/04/2016			Red 2	112,6

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.7. Acueductos con concentraciones de calcio superiores al Valor Máximo Admisible (> 100,0 mg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
22/02/2016	CH-A-29-Barbudal de Colorado	Abangares	Red 2	101,6
23/05/2016	CH-A-05-Bolsón-Ortega	Santa Cruz	Red Ortega	104,0
05/09/2016	CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique	Carrillo	Panamá	1418,6
21/04/2016			Red 2	249,9

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.8. Acueductos con concentraciones de dureza total superiores al Valor Máximo Admisible (> 400 mg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
23/05/2016	CH-A-05-Bolsón-Ortega	Santa Cruz	Red Ortega	433
05/09/2016	CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique	Carrillo	Panamá	6367
21/04/2016			Red 2	1088

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.9. Acueductos con concentraciones de cloruros superiores al Valor Máximo Admisible (> 250,00 mg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
21/04/2016	CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique	Carrillo	Red 2	768,43
			Red 3	771,87
			Red 1	760,50
05/09/2016			Panamá	4402,37
21/07/2016			Red 1	2827,40

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.10. Acueductos con concentraciones de fluoruros superiores al Valor Máximo Admisible (> 1,50 mg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
22/08/2016	CH-A-56-Curubandé de Liberia	Liberia	Red 1	1,56

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.11. Acueductos con concentraciones de arsénico superiores al Valor Máximo Admisible (> 10,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
28/04/2016	CH-A-47-Quintas Don Miguel de Bagaces	Bagaces	Red 1	28,1
26/05/2016				21,2
21/06/2016				19,9
23/08/2016	CH-A-30-Bebedero de Cañas	Cañas	Red 1	11,0
21/06/2016	CH-A-43-Bagaces	Bagaces	Centro 1	10,4
19/07/2016			Centro 2	10,9
29/07/2016	CH-A-Falconiana de Bagaces	Bagaces	Red 1	11,7
28/04/2016				10,7
21/06/2016				11,7

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Durante el 2016, se atendió una queja en el sector abastecido por el acueducto CH-A-38-Paragayo Sur: Hermosa-Cacique en la RCH. En los Apéndices se muestra el detalle de la queja: cliente, fecha, acueducto, puntos de muestreos, dirección exacta, motivo de la queja y los resultados de la inspección de la muestra recolectada. El motivo de la queja fue por sabor salado.

En los Cuadros 3.3.12 y 3.3.13 se enumeran los acueductos clorados que cumplieron con los criterios de los parámetros microbiológicos y no cumplieron con los físico-químicos.

Cuadro 3.3.12. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Chorotega para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos clorados que cumplen			
Guanacaste			
Liberia			
CH-A-51-El Gallo de Curubandé*	100	Azul	2024
CH-A-52-Terreros*	100	Azul	459
CH-A-53-Rodeito*	100	Azul	370
CH-A-54-Cañas Dulces*	100	Azul	2649
CH-A-50-Liberia	100	Azul	64972
CH-A-36-Papagayo Alegre*	100	Azul	81
CH-A-37-Papagayo: Sector Four Seasons*	94	Azul	96
CH-A-55-Quebrada Grande*	100	Azul	1084
Nicoya			
CH-A-13-Mansión-Barra Honda-Pueblo Viejo*	100	Azul	2642
CH-A-19-Acueducto Integrado Cuesta Grande-Maquenco-Terciopelo*	100	Azul	595
CH-A-12-Nicoya	100	Azul	23440
CH-A-17-Polvazales*	100	Azul	408
CH-A-16-San Antonio*	100	Azul	527
CH-A-20-San Joaquín de Nicoya: sector Los Mangos 1*	92	Azul	388
CH-A-21-San Joaquín de Nicoya: sector Los Mangos 2*	100	Azul	445
CH-A-15-Vigía-Puerto Jesús*	100	Azul	615
Santa Cruz			
CH-A-05-Bolsón-Ortega*	100	Azul	1577
CH-A-02-Cacao de Santa Cruz*	100	Azul	1142
CH-A-04-Cartagena*	100	Azul	3541

Cuadro 3.3.12. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Chorotega para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
CH-A-11-Flamingo*	100	Azul	1030
CH-A-03-Lagunilla*	92	Azul	2409
CH-A-07-Portegolpe*	100	Azul	1198
CH-A-06-Santa Bárbara*	100	Azul	2425
CH-A-01-Santa Cruz	99	Azul	15616
CH-A-10-Tamarindo (sistema Beco Antiguo)*	100	Azul	1914
CH-A-09-Tempate*	92	Azul	561
CH-A-08-Veintisiete de Abril*	100	Azul	1756
Bagaces			
CH-A-43-Bagaces	97	Azul	10605
CH-A-44-Saltral de Bagaces*	100	Azul	108
CH-A-46-Falcaoniana de Bagaces*	100	Azul	252
CH-A-47-Quintas Don Miguel de Bagaces*	100	Azul	374
Carrillo			
Ch-A-35-Belén-Santa Ana	100	Azul	6675
CH-A-39-El Coco	100	Azul	11999
CH-A-31-Filadelfia	100	Azul	5927
CH-A-34-Guardia-Comunidad*	100	Azul	2046
CH-A-33-Palmira*	100	Azul	2287
CH-A-32-Río Cañas*	100	Azul	892
CH-A-40-Sardinal	100	Azul	5480
Cañas			
CH-A-26-Cañas	100	Azul	22097
CH-A-30-Bebedero de Cañas*	100		2178
CH-A-27-Vergel de Cañas*	100	Azul	227
Abangares			
CH-A-29-Barbudal de Colorado*	92	Azul	198
CH-A-28-Colorado, Raizal e Higuerrilla	100	Azul	2120
Tilarán			
CH-A-23-Los Ángeles*	100	Azul	1158
CH-A-24-Líbano*	100	Azul	436
CH-A-25-Tierras Morenas*	100	Azul	614
CH-A-22.1-Tilarán	100	Azul	8540
Hojancha			
CH-A-14-Acueducto Integrado Matambú-Los Ángeles-Cerrillo-Hojancha*	100	Azul	4267

Cuadro 3.3.12. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Chorotega para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
La Cruz			
CH-A-41-La Cruz	100	Azul	8651
CH-A-42-Peñas Blancas	100	Azul	367
Puntarenas			
Puntarenas			
CH-A-Jicaral*	100	Azul	3451
Acueductos clorados que no cumplen			
Guanacaste			
Bagaces			
CH-A-45-Montenegro y Agua Caliente de Bagaces*	82	Verde	1848
Tilarán			
CH-A-22.2-Buenos Aires*	88	Verde	1706

*Acueductos evaluados con un 90 % de negatividad para ser considerados como de calidad potable.

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.3.13. Calidad según criterios microbiológicos y físico-químicos de acueductos clorados de la Región Chorotega para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Criterio de parámetro físico-químico incumplido*	Población
Acueductos clorados que no cumplen				
Guanacaste				
Liberia				
CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique	100	Azul	Conductividad Calcio Dureza total Cloruros Magnesio	1106
CH-A-56-Curubandé de Liberia*	100	Azul	Aluminio pH	858

*Incumplimiento considerado de riesgo para la salud del consumidor o que afecte la aceptabilidad por parte de los consumidores; se considera no potable.

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

La RCH suministró agua de calidad potable a 234.913 habitantes, lo que equivale al 97,7 % de la población de la región, y al 10,2 % de la población total abastecida por AyA, mediante 51 acueductos (Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3). Dos acueductos de la RCH, suministraron agua que no cumplió con los criterios de calidad microbiológica; y otros dos acueductos, suministraron agua que no cumplió con los criterios físico-químicos. Estos últimos acueductos fueron CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique y CH-A-56-Curubandé de Liberia; ambos abastecieron a 1.964 personas, lo que equivale aproximadamente al 0,8 % de la población total de la RCH.

La zona del Pacífico Norte presenta una elevada demanda de agua de consumo, resultante del desarrollo de la infraestructura turística (para consumo humano, mantenimiento de infraestructura, operación de piscinas y riego de campos de golf) y las necesidades básicas de consumo humano de los diferentes centros poblados, además de la agricultura intensiva y la ganadería. Asimismo, se presume que la cantidad de pozos ilegales supera a la tramitada legalmente (S. Romero, UEN Gestión Ambiental, comunicación personal, abril, 7, 2016), aumentando con ello la inmensa presión que se ejerce sobre el recurso hídrico subterráneo en la región Chorotega. La sobreexplotación de los mantos acuíferos impide la recarga el acuífero, generando que se reduzcan los niveles de la tabla de agua subterránea.

Las altas concentraciones recurrentes de calcio, cloruros, magnesio y dureza total, adicionado a los elevados niveles de conductividad eléctrica en el agua suministrada por el acueducto CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique, son un indicador del ingreso del agua de mar al acuífero, proceso conocido como intrusión salina. Por lo tanto, se consideró de calidad no potable el agua suministrada por el acueducto, debido a todas las afecciones que provoca la ingesta excesiva de sales en la salud de los consumidores; además del rechazo por parte de los consumidores al otorgarle al agua un sabor salado desagradable (motivo de la queja reportada). No obstante, la RCH ha venido sacando de operación los pozos salinizados.

La presencia de calcio en el agua puede afectar la aceptabilidad por parte de los consumidores, debido a su sabor. El valor del umbral gustativo del ion calcio se encuentra entre (100 y 300) mg/L, dependiendo del anión asociado; no obstante, no es de significado para la salud (OMS, 2013). A pesar de que las concentraciones de calcio sobrepasaron el VMA en el agua de los acueductos CH-A-29-Barbudal de Colorado y CH-A-05-Bolsón-Ortega,

éstas no fueron lo suficientemente altas como para considerar la calidad del agua como no potable (concentraciones por debajo de 105 mg/L).

Resulta importante recalcar la situación del acueducto CH-A-05-Bolsón-Ortega, ya que, aunque se consideró de calidad potable, el acueducto presentó elevados niveles de conductividad eléctrica (alrededor de 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$), tanto en el 2015 como 2016. Además de las concentraciones de calcio ligeramente superiores al VMA, el acueducto presentó una dureza total superior al VMA (un promedio de 425 mg/L entre fuentes y red de distribución).

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral. A pesar de que varios estudios epidemiológicos han demostrado una relación positiva entre la ingesta de aluminio en el agua y la enfermedad de Alzheimer, el riesgo de desarrollar la enfermedad bajo una exposición de aluminio en el agua de consumo en concentraciones superiores a 100 $\mu\text{g}/\text{L}$, pareciera ser bajo.

El grado de absorción de aluminio mediante la ingesta de agua permanece incierta, ya que depende de parámetros, como el pH para la especiación y solubilidad del aluminio (OMS, 2011). El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en el reporte 67^a del 2011, estableció la ingesta semanal tolerable provisional (*Provisional Tolerable Weekly Intake*: PTWI) de aluminio en 1 mg/kg. Con base en las especificaciones de las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), donde se le atribuye un 20 % del PTWI al agua para consumo y usan como referencia un adulto de 60 kg que ingiere al día 2 L de agua, se obtiene un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 0,9 mg/L. La concentración de aluminio detectada en el agua del acueducto CH-A-56-Curubamdé de Liberia superó este valor de riesgo; por ende, se consideró de calidad no potable. Además, el acueducto presentó niveles bajos de pH (4,50-5,50), lo cual es frecuente cuando se observan altas concentraciones de aluminio.

El sulfato de aluminio se utiliza como coagulante-floculante en las plantas potabilizadoras de tratamiento convencional, para disminuir la turbiedad y la carga de microorganismos (OMS, 2011); su uso suele aumentar las concentraciones de aluminio en el agua tratada. Las concentraciones de aluminio de entre (200-450) $\mu\text{g}/\text{L}$ en el agua de la red de distribución proveniente de la planta potabilizadora de Liberia, son posiblemente consecuencia de una sobredosisificación del coagulante-floculante durante el proceso. Estas

concentraciones en el agua tratada pueden generar rechazo de la misma por parte de los consumidores, debido a la deposición de flóculos provocados por el residual de sulfato de aluminio en la red de distribución, ya que continúa interactuando con las partículas en el agua (OMS, 2011). El agua del acueducto CH-A-50-Liberia se consideró de calidad potable, ya que las concentraciones de aluminio fueron inferiores al valor de referencia de riesgo para la salud establecido por la OMS (900 µg/L). No obstante, la situación del acueducto no debe pasar desapercibida y podría remediarse optimizando el proceso de tratamiento.

El potencial hidrógeno o pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, que indica la concentración de iones hidrógenos presentes en las disoluciones. Las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) no establecen valores de referencia de riesgo para la salud para el pH; ya que normalmente no genera ningún impacto directo en los consumidores. Un pH ácido (menores a 6,0) fomenta que se disuelvan los metales de la corteza terrestre en el agua, variando la calidad del agua y su riesgo asociado, tal como sucede con el acueducto CH-A-56-Curubandé de Liberia. Un pH básico (superiores a 8,0) modifica el sabor del agua, propicia la formación de incrustaciones o depósitos en tuberías y le otorga una sensación jabonosa al agua (EPA, 2017). Por lo tanto, el agua de los acueductos que presentaron valores de pH alrededor de 8,5, fue considerada de calidad potable, al no repercutir directamente en la salud del consumidor.

Los nitratos son considerados de significado para la salud con tan solo un tiempo de exposición corto, según Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011). Una vez ingeridos, los nitratos se reducen a nitritos gracias al metabolismo de bacterias presentes en el organismo. Los nitritos son compuestos tóxicos para la salud, debido a que producen metahemoglobinemia o síndrome del recién nacido cianótico. La incidencia de dicha enfermedad se asocia con la presencia de contaminación microbiana (OMS, 2011); es decir, el riesgo a la salud aumenta significativamente cuando el agua presenta coliformes fecales, además de altas concentraciones de nitratos. El origen de los nitratos en el agua puede ser consecuencia de la descomposición de materia vegetal, uso excesivo de fertilizantes inorgánicos nitrogenados, acumulación de abono y estiércol, y del mal manejo de las aguas residuales domésticas, incluida la falta de mantenimiento de tanques sépticos.

En el agua de los acueductos CH-A-30-Bebedero de Cañas y CH-A-45-Montenegro y Agua Caliente de Bagaces se detectaron concentraciones de nitritos de (0,11 y 0,12) mg/L

respectivamente. Sin embargo, el promedio aritmético de los muestreos de la red de distribución de cada acueducto fue menor que el VMA; por lo que, su calidad se consideró potable.

El flúor es un elemento común en la naturaleza y se encuentra ampliamente distribuido a lo largo de la corteza terrestre en la forma de fluoruros en diversos minerales; prácticamente todos los alimentos contienen trazas de fluoruros (OMS, 2011). Los fluoruros son ampliamente utilizados para combatir las caries dentales, especialmente en zonas donde se consume altas cantidades de azúcar. En Costa Rica, se le adicionan fluoruros a la sal de mesa, con el fin de proteger a la población contra las caries dentales; con la excepción de las zonas del país identificadas con flúor natural en el agua (ejemplo la zona de Tierra Blanca de Cartago) (Reforma Norma Oficial para la Sal de Calidad Alimentaria, 2001).

Las Guías para la Calidad del Agua Potable establecen un valor de referencia de riesgo para la salud de 1,5 mg/L de fluoruros en el agua para consumo, que coincide con el VMA. Existe evidencia epidemiológica de que concentraciones superiores a 1,5 mg/L en el agua conllevan un aumento en el riesgo de fluorosis dental, y que concentraciones todavía más altas, incrementan el riesgo de fluorosis esquelética. Sin embargo, la exposición diaria de fluoruros varía en función, no solo de la concentración de fluoruros en el agua para consumo, sino también del volumen ingerido, la edad de la persona, las condiciones climáticas (altura, humedad, clima), hábitos alimentarios (concentraciones en los alimentos consumidos) y el uso de productos dentales fluorurados; por lo que varía considerablemente de una región a otra. Existe un alto riesgo de sufrir efectos adversos en los huesos con una ingesta total diaria de 14 mg de fluoruros; y la evidencia sugiere que puede haber efectos adversos en los huesos con ingestas superiores a 6 mg por día.

El acueducto de CH-A-56-Curubandé de Liberia presentó solo un punto en la red de distribución con una concentración ligeramente superior al VMA, lo cual despierta una alerta para darle especial seguimiento a las concentraciones de fluoruros en este acueducto. El agua del acueducto fue considerado no potable, debido a las altas concentraciones de aluminio y niveles bajos de pH detectados.

El arsénico es considerado como una de las sustancias químicas de origen natural de mayor riesgo para la salud del consumidor (OMS, 2011). En septiembre del 2014, comenzaron

a operar plantas de tratamiento de remoción de arsénico en acueductos rurales que presentaron altos niveles de arsénico en la zona de Bagaces, Cañas y Los Chiles. Actualmente el AyA cuenta con seis plantas de remoción de arsénico. La tecnología de remoción de las plantas consiste en un proceso de adsorción de arsénico sobre un medio filtrante llamado dióxido de titanio (TiO_2), el cual es selectivo para oxianiones como el arseniato (Urbina & Arias, 2017).

En los acueductos donde se detectaron concentraciones de arsénico superiores al VMA de arsénico en la red de distribución fueron: CH-A-47-Quintas Don Miguel de Bagaces, CH-A-30-Bebedero de Cañas, CH-A-43-Bagaces y CH-A-Falconiana de Bagaces. Con excepción de CH-A-43-Bagaces, los acueductos presentaron planta de remoción. En el caso de las plantas, los altos niveles se debieron a que el medio filtrante se saturó y los retrolavados no fueron suficientes, por lo que tuvieron que cambiarlo por uno nuevo (Urbina & Arias, 2017). Sin embargo, los promedios de las redes de distribución fueron inferiores al VMA. Por lo tanto, la calidad del agua fue considerada potable.

Los puntos de red de distribución del acueducto CH-A-41-La Cruz dieron altos valores de turbiedad y color para el día 7 de marzo del 2016. No obstante, no hubo presencia de contaminación fecal, por lo que se consideró agua de calidad potable.

En el 2016, la cobertura de agua potable en la RCH se redujo 0,5 % con respecto al 2015 (Cuadro 4.6). El porcentaje de potabilidad del agua pareciera fluctuar dentro de un ámbito de aproximado de 98-100 % desde el 2012 (Figura 4.1).

3.3.2. Conclusiones

- La RCH suministró, mediante 51 acueductos, agua de calidad potable a 200.648 habitantes, lo que equivale al 97,7 % de la población de la región, y al 10,2 % de la población total abastecida por AyA.
- Los acueductos CH-A-22.2-Buenos Aires de Tilarán y CH-A-45-Montenegro y Agua Caliente de Bagaces suministraron agua de calidad no potable, al no cumplir con los criterios microbiológicos.

- El acueducto CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique suministró agua de calidad no potable, debido a que se detectaron altas concentraciones recurrentes de calcio, cloruros, magnesio y dureza total, adicionado a los elevados niveles de conductividad eléctrica en el agua proveniente de sus pozos; lo cual es un indicador de intrusión salina.
- El agua suministrada por el acueducto CH-A-56-Curubandé de Liberia fue de calidad no potable, ya que la concentración de aluminio detectada en la red de distribución superó el valor de referencia de riesgo para la salud establecido por la OMS (0,9 mg/L).
- En el 2016, la cobertura de agua potable en la RCH se redujo 0,5 % con respecto al 2015. El porcentaje de potabilidad del agua fluctúa dentro de un ámbito de aproximado de 98-100 % desde el 2012.
- Ningún acueducto suministró agua de calidad no potable que contuviera altas concentraciones de arsénico.
- Se detectaron concentraciones de aluminio ligeramente superiores al Valor Máximo Admisible en el agua tratada de la planta potabilizadora de Liberia, lo que indica una posible sobredosificación de sulfato de aluminio durante el proceso de potabilización.

3.3.3. Recomendaciones

- Mantener un monitoreo constante de los pozos, que actualmente abastecen al acueducto CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique y de zonas costeras aledañas, para detectar posibles indicios de intrusión salina.
- Para el caso del acueducto de CH-A-56-Curubandé de Liberia, se recomienda apearse al Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, elaborado por la Comisión de Potabilización del AyA.
- Mantener un residual de cloro de 0,3 a 0,6 mg/L y un proceso de desinfección continuo y eficiente en los sistemas de abastecimiento.

- Realizar los retro lavados de los filtros de las plantas de remoción de arsénico con la frecuencia requerida, para evitar su saturación precoz.
- Controlar de manera adecuada la dosificación de sulfato de aluminio y el valor del pH durante el proceso de coagulación-floculación en las plantas de tratamiento de Liberia para evitar el incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de la red de distribución.
- Prestar atención a los niveles de fluoruros detectados en el agua del acueducto de CH-A-56-Curubamdé de Liberia.

3.4. Región Central

3.4.1. Discusión

En el 2016, la Región Central (RC) operó 38 acueductos, que le suministraron agua al 6,4 % del total de la población abastecida por AyA (147.731 personas) (Cuadro 4.2). Treinta y tres acueductos fueron clorados, y todos ellos cumplieron con los criterios microbiológicos. Los restantes cinco acueductos no fueron clorados; de estos, tres no cumplieron con los criterios microbiológicos y los otros dos no fueron evaluados (Cuadro 4.1). Los acueductos que no cumplieron con los criterios microbiológicos fueron CO-A-29-Calle Pérez, CO-A-30-Camarón y CO-A-31-Quebrada La Plata; los acueductos sin evaluar fueron CO-A-27-Purires Arriba y CO-A-28-Purires Abajo.

Con base en la clasificación por el Código de Colores, el 100 % de la población abastecida por los 33 acueductos clorados recibió agua de calidad excelente (nivel azul). Los acueductos no clorados suministraron agua de calidad buena, regular y muy mala, mediante tres acueductos evaluados (los otros dos acueductos no fueron evaluados). Resulta evidente la acción desinfectante del cloro en la calidad del agua, siendo la totalidad de los acueductos clorados de calidad excelente.

Para el 2016, la RC presentó un total de 83 fuentes de abastecimiento; un 58 % del correspondió a subsuperficiales (nacientes), un 31 % correspondió a fuentes subterráneas (pozos), y un 11 % a fuentes superficiales (ríos y quebradas) (Cuadro 1.2). De acuerdo al estudio realizado por Orozco y Solís (2016), los parámetros físico-químicos presentaron un papel más relevante en comparación a los microbiológicos, a la hora de determinar la calidad de las fuentes de abastecimiento subterráneas del AyA en el 2015.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados, tanto de fuentes de abastecimiento, como de red de distribución, cumplen en su mayoría con los criterios establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo N° 38924 -S. En los Cuadros 3.4.1 al 3.4.3 se presenta el resumen de los parámetros que presentaron incumplimiento. Los análisis puntuales realizados a lo largo del año, se observan en los Apéndices. Durante el 2016, en el LNA no se atendieron quejas relacionadas con la calidad del agua suministrada por la RC.

Cuadro 3.4.1. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).

Fecha de muestreo	Subsistema	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (UNT)
16/05/2016	CO-A-24-La Gloria	Puriscal	La Gloria Abajo	7,60

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.4.2. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
05/07/2016	CO-A-33-San Ignacio de Acosta	Acosta	Guaitil	217,3
16/12/2016	CO-A-31-Quebrada La Plata	Turrubares	Red 2	247,9

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.4.3. Acueductos con concentraciones de nitritos superiores al Valor Máximo Admisible (> 0,10 mg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
27/07/2016	CO-A-14-Cristo Red de Los Chiles	Los Chiles	Red 3	0,85

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

En los Cuadro 3.4.4 y 3.4.5 se enumeran los acueductos clorados y no clorados que cumplieron o no con los criterios de los parámetros microbiológicos.

Cuadro 3.4.4. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Central para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos clorados que cumplen			
San José			
Puriscal			
CO-A-19-Alto La Legua de Puriscal*	100	Azul	418

Cuadro 3.4.4. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Central para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
CO-A-21-Barbacoas*	100	Azul	1969
CO-A-24-La Gloria*	94	Azul	360
CO-A-18-Mercedes de Puriscal*	100	Azul	367
CO-A-22-San Antonio de Puriscal*	100	Azul	3893
CO-A-23-Piedades de Puriscal*	100	Azul	935
CO-A-17-Santiago	99	Azul	9136
Mora			
CO-A-20-La Fila (Corrogres)*	100	Azul	2094
Acosta			
CO-A-33-San Ignacio de Acosta*	99	Azul	4637
Turrubares			
CO-A-25-San Gabriel de Carara (Turrubares)*	100	Azul	163
CO-A-26-San Pedro y San Pablo de Turrubares*	100	Azul	3118
CO-A-32-Los Quirós*	100	Azul	17
Alajuela			
Alajuela			
CO-A-04-Ciudad Hacienda Los Reyes*	100	Azul	1211
CO-A-02-Aeropuerto*	100	Azul	329
CO-A-03-La Guácima	100	Azul	10160
CO-A-01.1-Pasito	100	Azul	83237
CO-A-01.2-Urbanización La Lucha*	100	Azul	707
CO-A-01.3-Urbanización Metates de San Antonio*	100	Azul	490
CO-A-01.4-Urbanización Monterrocoso*	100	Azul	1127
CO-A-01.5-Urbanización Villa Verano de El Coyol de Alajuela*	100	Azul	175
Atenas			
CO-A-08-Alto López*	100	Azul	34
CO-A-05-Atenas	100	Azul	11526
CO-A-09-Barrio Jesús*	100	Azul	41
CO-A-11-Las Cumbres (Ángeles, Atenas)*	100	Azul	37
CO-A-10-Barroeta*	100	Azul	85
CO-A-07.2-Río Grande (sector Nac. Hermógenes Castillo)*	100	Azul	680
CO-A-07.1-Río Grande (sector Naciente Lula)*	100	Azul	986
CO-A-06-Santa Eulalia-Alto López*	100	Azul	3070

Cuadro 3.4.4. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Central para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Los Chiles			
CO-A-14-Cristo Rey de Los Chiles*	100	Azul	473
CO-A-12-Los Chiles*	100	Azul	4567
CO-A-15-Santa Cecilia de Amparo de Los Chiles*	93	Azul	1177
CO-A-13-San Jerónimo de Los Chiles de Alajuela*	100	Azul	394
CO-A-16-Las Tablillas de Los Chiles	100	Azul	4

*Acueductos evaluados con un 90 % de negatividad para ser considerados como de calidad potable.

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.4.5. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos no clorados de la Región Central para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad <i>Escherichia coli</i>	Xg Coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos no clorados que no cumplen				
San José				
San José				
CO-A-29-Calle Pérez	0	822,59	Rojo	31
CO-A-30-Camarón	0	36,12	Amarillo	7
CO-A-31-Quebrada La Plata	50	7,12	Verde	10
Acueductos no clorados sin evaluar				
San José				
Turrubares				
CO-A-27-Purires Arriba	-	-	-	49
CO-A-28-Purires Abajo	-	-	-	17

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA

De los 38 acueductos de la RC, 33 suministraron agua de calidad potable a 147.617 personas, equivalente al 99,9 % de la población abastecida por RC (Cuadro 4.1 y 4.3), lo que corresponde a un 6,4 % de la población total abastecida por AyA (Cuadro 4.2). La calidad no potable del agua de la RC se debió únicamente al incumplimiento de los criterios microbiológicos de los acueductos no clorados.

Los acueductos no clorados CO-A-29-Calle Pérez, CO-A-30-Camarón y CO-A-31-Quebrada La Plata, suministraron agua que incumplió con los parámetros microbiológicos. Los acueductos no clorados CO-A-27-Purires Arriba y CO-A-28-Purires Abajo no se encontraban en operación al momento de ser muestreados; por lo que, no se cuenta con muestras para poder evaluar su calidad. El agua de estos acueductos no clorados proviene de quebradas y una naciente, las cuales no son cloradas y el agua se suministra cruda.

La ingesta de agua superficial sin el tratamiento adecuado, implica un grave riesgo para la salud de los consumidores, debido a que la calidad del agua es muy variable: depende de las condiciones climatológicas, uso de suelo y cobertura de bosque, desde el área de influencia, hasta el punto de captación. El artículo 18 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S) estipula que:

“Toda agua superficial utilizada para suministro de agua potable, debe recibir el tratamiento previo que la haga cumplir con los VMA establecidos en el presente reglamento, de igual manera se debe garantizar la eficiencia de la desinfección.”

Tampoco resulta conveniente mezclar agua superficial sin tratamiento convencional con agua subterránea en un sistema de abastecimiento de agua potable. Esto debido a que la calidad del agua superficial es muy variable, y varía según las condiciones climatológicas, uso de suelos y cobertura de bosque en el área de influencia al punto de captación.

Cómo solución inmediata, se optó por suministrar agua potable por medio de camiones cisterna a estos sectores de la población, dos veces por semana, para solventar la deficiente calidad de los acueductos no clorados. La creación de estos cinco acueductos no clorados surge de la necesidad de abastecer a 114 habitantes, que se ubican fuera de la zona de presión de los tanques del acueducto clorado CO-A-26-San Pedro y San Pablo de Turrubares; es decir, no pueden ser abastecidos por el acueducto clorado, ya que el agua se suministra por gravedad y los usuarios de estos cinco acueductos se localizan en una zona de mayor altitud que la de los tanques (D. Agüero y A. Ulloa, Oficina de Turrubares de AyA, comunicación personal, mayo, 5, 2017).

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral. A pesar de que varios estudios

epidemiológicos han demostrado una relación positiva entre la ingesta de aluminio en el agua y la enfermedad de Alzheimer, el riesgo de desarrollar la enfermedad bajo una exposición de aluminio en el agua de consumo en concentraciones superiores a 100 µg/L, pareciera ser bajo. El grado de absorción de aluminio mediante la ingesta de agua permanece incierta, ya que depende de parámetros, como el pH para la especiación y solubilidad del aluminio (OMS, 2011). El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en el reporte 67^a del 2011, estableció la ingesta semanal tolerable provisional (*Provisional Tolerable Weekly Intake*: PTWI) de aluminio en 1 mg/kg. Con base en las especificaciones de las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), donde se le atribuye un 20 % del PTWI al agua para consumo y usan como referencia un adulto de 60 kg que ingiere al día 2 L de agua, se obtiene un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 0,9 mg/L. En ninguno de los acueductos de la RC se detectaron concentraciones de aluminio superiores a dicho valor de riesgo.

El sulfato de aluminio se utiliza como coagulante-floculante en las plantas potabilizadoras de tratamiento convencional, para disminuir la turbiedad y la carga de microorganismos (OMS, 2011); su uso suele aumentar las concentraciones de aluminio en el agua tratada. La concentración de aluminio por encima al VMA ($Al^{3+} > 200,0 \mu g/L$) detectada en el agua de la planta de tratamiento de San Ignacio de Acosta, indica una posible sobredosisificación de sulfato de aluminio durante el proceso de potabilización. Esto genera rechazo del agua por parte de los consumidores, debido a la deposición de flóculos provocados por el residual de sulfato de aluminio en la red de distribución, ya que continua interactuando con las partículas en el agua (OMS, 2011). Situación que no debe pasar desapercibida y puede remediarse optimizando el proceso de tratamiento.

Los nitratos son considerados de significado para la salud con tan solo un tiempo de exposición corto, según Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011). Una vez ingeridos, los nitratos se reducen a nitritos gracias al metabolismo de bacterias presentes en el organismo. Los nitritos son compuestos tóxicos para la salud, debido a que producen la metahemoglobinemia o síndrome del recién nacido cianótico. La incidencia de dicha enfermedad se asocia con la presencia de contaminación microbiana (OMS, 2011); es decir, el riesgo a la salud aumenta significativamente cuando el agua presenta coliformes fecales, además de altas concentraciones de nitratos. El origen de los nitratos en el agua puede ser consecuencia de la descomposición de materia vegetal, uso excesivo de fertilizantes

inorgánicos nitrogenado, acumulación de abono y estiércol, y del mal manejo de las aguas residuales domésticas, incluida la falta de mantenimiento de tanques sépticos.

En el agua del acueducto CO-A-14-Cristo Red de Los Chiles se detectó una concentración de nitritos superior al VMA. Sin embargo, el promedio aritmético de los muestreos de la red de distribución fue menor que el VMA; por lo que, su calidad se consideró potable.

Un punto de red de distribución del acueducto CO-A-24-La Gloria, del día 16 de mayo del 2016, dio un valor alto de turbiedad. No obstante, el promedio de los puntos de red dio por debajo del VMA y no hubo presencia de contaminación fecal; por tanto, se consideró agua de calidad potable.

En el 2016, la cobertura de agua potable en la RC se incrementó en un 2,3 % con respecto al 2015 (Cuadro 4.6). El porcentaje de potabilidad del agua pareciera fluctuar dentro de un ámbito de 97-100 % desde el 2012 (Figura 4.1).

3.4.2. Conclusiones

- La RC suministró, mediante 33 acueductos, agua de calidad potable a 147.617 habitantes, lo que equivale al 99,9 % de la población de la región, y al 6,4 % de la población total abastecida por AyA.
- Todos los acueductos clorados suministraron agua de calidad potable.
- Ninguno de los cinco acueductos no clorados suministró agua de calidad potable.
- Los acueductos no clorados CO-A-29-Calle Pérez, CO-A-30-Camarón y CO-A-31-Quebrada La Plata suministraron agua de calidad no potable, al no cumplir con los criterios microbiológicos.
- Los acueductos no clorados CO-A-27-Purires Arriba y CO-A-28-Purires Abajo no fueron evaluados durante el 2016.

- La calidad no potable del agua de la RC se debió únicamente al incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica.
- La acción desinfectante del cloro desempeñó un papel importante en la calidad microbiológica del agua, dado que la totalidad de los acueductos clorados fueron de calidad potable; mientras que, los no clorados fueron de calidad no potable o estuvieron fuera de operación por periodos prolongados.
- La concentración de aluminio por encima al VMA ($Al^{3+} > 200,0 \mu g/L$) detectada en el agua de la planta de tratamiento de San Ignacio de Acosta, indica una posible sobredosificación de sulfato de aluminio durante el proceso de potabilización.
- En el 2016, la cobertura de agua potable en la RC aumentó 2,3 % con respecto al 2015. El porcentaje de potabilidad del agua fluctuó dentro de un ámbito de 97-100 % desde el 2012.

3.4.3. Recomendaciones

- Abastecer a los 114 usuarios, que recibieron agua mediante los acueductos no clorados, con agua clorada proveniente de otros sistemas de abastecimiento.
- Controlar de manera adecuada la dosificación de sulfato de aluminio y el valor del pH durante el proceso de coagulación-floculación en las plantas de tratamiento de San Ignacio de Acosta, para evitar el incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de la red de distribución.

3.5. Región Brunca

3.5.1. Discusión

En el 2016, la Región Brunca (RB) operó 28 acueductos, que le suministraron agua al 8,2 % del total de la población abastecida por AyA (189.441 personas) (Cuadro 4.2); en todos estos acueductos se aplicó cloración continua. La calidad no potable del agua se debió, tanto al incumplimiento de los criterios microbiológicos, como físico-químicos.

Según la clasificación por el Código de Colores, el 98,0 % de la población abastecida recibió agua de calidad excelente (nivel azul), y el 2,0 % buena (nivel verde); ningún acueducto calificó con agua de nivel amarillo (regular), naranja (mala), ni rojo (muy mala). De los 28 acueductos totales, en el nivel azul se ubicaron 27 acueductos, y en el verde el acueducto restante.

Para el 2016, la RB presentó 79 fuentes de abastecimiento; un 66 % correspondió a subsuperficiales o nacientes, un 21 % a fuentes subterráneas (pozos), y un 13 % a fuentes superficiales (ríos y quebradas) (Cuadro 1.2). De acuerdo al estudio realizado por Orozco y Solís (2016), los parámetros físico-químicos presentaron un papel más relevante en comparación a los microbiológicos, a la hora de determinar la calidad de las fuentes de abastecimiento subterráneas del AyA en el 2015.

Los resultados de los análisis físico-químicos efectuados, tanto de fuentes de abastecimiento, como de red de distribución, cumplen en su mayoría con los criterios establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo N° 32327-S y Decreto Ejecutivo N° 38924 -S. En los Cuadros 3.5.1 al 3.5.7, se presenta el resumen de los parámetros que presentaron incumplimiento y sobre los cuales la región debe poner atención. Los análisis puntuales realizados a lo largo del año, se observan en el Apéndice 26. Durante el 2016, en el LNA no se atendieron quejas por reclamos de usuarios sobre la calidad del agua suministrada en los acueductos operados por la RB.

Cuadro 3.5.1. Acueductos con niveles de color verdadero superiores al Valor Máximo Admisible (> 15,0 UPt-Co).

Fecha de muestreo	Subsistema	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (UPt-Co)
15/03/2016	BR-A-13-Coto 44	Corredores	Red 1	18,0
22/06/2016				18,0
28/09/2016				19,0
15/34/2016			Red 2	19,0
22/06/2016				19,0
28/09/2016				28,0
15/03/2016			Red 3	16,0
22/06/2016				19,0
28/09/2016				20,0
29/11/2016			BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11, 12 y 10	Osa
17/05/2016	BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9	Finca 7	18,0	
21/06/2016	BR-A-12.2-Ciudad Neily (Viejo)	Corredores	El Capri	18,0

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.5.2. Acueductos con concentraciones de hierro superiores al Valor Máximo Admisible (> 300,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
22/06/2016	BR-A-13-Coto 44	Corredores	Red 2	466,2
28/09/2016			Red 3	573,4
17/05/2016	BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9	Osa	Finca 7	402,8

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.5.3. Acueductos con concentraciones de manganeso superior al Valor Máximo Admisible (> 500,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
22/06/2016	BR-A-13-Coto 44	Corredores	Red 2	510,9

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.5.4. Acueductos con concentraciones de potasio superiores al Valor Máximo Admisible (> 10,0 mg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
22/06/2016	BR-A-13-Coto 44	Corredores	Red 2	11,3
28/09/2016			Red 3	11,8

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.5.5. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).

Fecha de muestreo	Subsistema	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (UNT)
03/05/2016	BR-A-08-Ciudad Cortés	Osa	Red 1	5,79
21/06/2016	BR-A-12.2-Ciudad Neily (Viejo)	Corredores	El Capri	9,05

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.5.6. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
18/08/2016	BR-A-08-Ciudad Cortés	Osa	Red 1	215,8

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.5.7. Acueductos en los que se debe poner atención al nivel de conductividad eléctrica (> 500 $\mu\text{S/cm}$).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mS/cm)		
15/04/2016	BR-A-12.1-Ciudad Neily (Abrojo)	Corredores	Ciudadela 22 de Octubre	700		
20/07/2016				613		
15/04/2016			Ciudadela González	698		
15/04/2016			El Carmen 1	649		
15/03/2016	Coto 44	Corredores		746		
22/06/2016			Red 1	671		
28/09/2016				683		
15/03/2016				748		
22/06/2016			Red 2	710		
28/09/2016				676		
15/03/2016				749		
22/06/2016			Red 3	713		
28/09/2016				668		
15/02/2016			BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9	Osa		486
17/05/2016					Finca 5	470
17/08/2016						477
29/11/2016	470					
15/02/2016	Finca 7	512				
17/05/2016		487				
17/08/2016		461				
29/11/2016		449				
15/02/2016	Finca 8	510				
17/05/2016		494				
17/08/2016		460				
29/11/2016		449				
15/02/2016		509				
17/05/2016	Finca 9	486				
17/08/2016		466				
29/11/2016		450				

Cuadro 3.5.7. Acueductos en los que se debe poner atención al nivel de conductividad eléctrica (> 500 $\mu\text{S/cm}$).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mS/cm)
15/02/2016	BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11,12 y 10	Osa	Red Finca 2-4	502
17/05/2016				499
17/08/2016				483
29/11/2016				472
15/02/2016			Red Finca 6-11	504
17/05/2016				495
17/08/2016				477
29/11/2016				469
15/02/2016			Red Finca 3	506
17/08/2016				472
29/11/2016				464
15/02/2016			Red Finca 12	505
17/08/2016				484
29/11/2016				463

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

En los Cuadros 3.5., y 3.5.9 se enumeran los acueductos clorados que cumplieron o no con los criterios de los parámetros microbiológicos y físico-químicos.

Cuadro 3.5.8. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Brunca para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos clorados que cumplen			
San José			
Pérez Zeledón			
BR-A-06-Pejibaye*	100	Azul	1512
BR-A-02-Peñas Blancas*	100	Azul	2118
BR-A-05-Platanillo*	100	Azul	980
BR-A-01.2-Quebradas*	100	Azul	1218
BR-A-01.1-San Isidro	100	Azul	77763

Cuadro 3.5.8. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Brunca para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
BR-A-03-San Rafael de Platanares*	100	Azul	739
BR-A-04-Tinamaste-Alfombra*	100	Azul	700
Puntarenas			
Buenos Aires			
BR-A-19.1.Buenos Aires: sector Fuente Cabuya*	100	Azul	4980
BR-A-19.2-Buenos Aires: sector planta de tratamiento	97	Azul	11255
BR-A-20-Santa Marta*	100	Azul	2179
Osa			
BR-A-08-Ciudad Cortés*	100	Azul	5933
BR-A-10-Palmar Norte*	100	Azul	3633
BR-A-07-Dominical de Osa*	100	Azul	193
Golfito			
BR-A-16.1-Golfito: sector Pueblo Civil*	100	Azul	1394
BR-A-16.2-Golfito: sector Quebrada Km 3 y Km 5*	100	Azul	384
BR-A-15-La Mona de Golfito*	100	Azul	1265
BR-A-14-Acueducto Integrado Río Claro-Los Ángeles	100	Azul	8935
BR-A-18-Puerto Jiménez*	100	Azul	2740
BR-A-17-San Juan de Golfito*	100	Azul	224
Coto Brus			
BR-A-11-San Vito-Sabalito-Aguabuena	100,00	Azul	25617
Corredores			
BR-A-12.2-Ciudad Neily (Viejo)	100	Azul	6863
BR-A-12.4-La Cuesta-Laurel	100	Azul	10545
BR-A-12.3-Barrio La Fuente*	100	Azul	357
BR-A-12.5-Paso Canoas	98	Azul	13433
Acueductos clorados que no cumplen			
Corredores			
CO-A-12.1-Ciudad Neily (Abrojo)**	92	Verde	3724

*Acueductos evaluados con un 90 % de negatividad para ser considerados como de calidad potable.

**Se evaluó con un 95 % de negatividad debido a que durante el 2016 se recolectaron 63 muestras de red de distribución.

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.5.9. Calidad según criterios microbiológicos y físico-químicos de acueductos clorados de la Región Brunca para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Criterio de parámetro físico-químico incumplido*	Población
Acueductos clorados que no cumplen				
Puntarenas				
Corredores				
CO-A-13-Coto 44*	100	Azul	Conductividad Manganeso Hierro Color	217
Osa				
BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11, 12 y 10*	94	Azul	Conductividad Color Manganeso	343
BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9*	100	Azul	Conductividad Color Hierro	197

*Incumplimiento considerado de riesgo para la salud del consumidor o que afecte la aceptabilidad por parte de los consumidores; se considera no potable.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

De los 28 acueductos de la RB, 24 suministraron agua de calidad potable a 184.960 habitantes, equivalente al 97,6 % de la población abastecida por RB (Cuadro 4.1 y 4.3), lo que corresponde a un 8,0 % de la población total abastecida por AyA (Cuadro 4.2). Cuatro acueductos presentaron agua de calidad no potable: BR-A-13-Coto 44, BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11, 12 y 10, y BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9 incumplieron con los criterios físico-químicos; el acueducto BR-A-12.1-Ciudad Neily (Abrojo) fue el único que incumplió con los criterios microbiológicos.

A pesar de que se detectó cloro residual dentro del rango deseado (0,3 mg/L a 0,6 mg/L) en las muestras de la red de distribución del acueducto BR-A-12.1-Ciudad Neily (Abrojo), se observó la presencia de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales, E. coli). Esto podría deberse a distintas causas: tratamiento inadecuado, dosificación de cloro inadecuada, tiempo insuficiente de contacto del agua con el cloro, falta de continuidad del proceso de desinfección, posibilidad de una contaminación posterior al tratamiento, falta de limpieza de la tubería, conexiones cruzadas, falta de continuidad del servicio y zonas de baja

presión; también se debe considerar que en las zonas de bajo consumo, donde el tiempo de residencia del agua en la tubería es alto, esto favorece la contaminación.

La RB contó con diez fuentes de abastecimiento superficiales (Cuadro 1.2), y solo tres plantas de tratamiento convencionales; es decir, que se abasteció a una parte de la población con agua superficial, que solo recibió tratamiento de desinfección. La ingesta de agua superficial sin el tratamiento adecuado, implica un grave riesgo para la salud de los consumidores, debido a que la calidad del agua es muy variable: depende de las condiciones climatológicas, uso de suelo y cobertura de bosque, desde el área de influencia, hasta el punto de captación. El artículo 18 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S) estipula que:

“Toda agua superficial utilizada para suministro de agua potable, debe recibir el tratamiento previo que la haga cumplir con los VMA establecidos en el presente reglamento, de igual manera se debe garantizar la eficiencia de la desinfección.”

Tampoco resulta conveniente mezclar agua superficial sin tratamiento convencional con agua subterránea en un sistema de abastecimiento de agua potable. Esto debido a que la calidad del agua superficial es muy variable, y varía según las condiciones climatológicas, uso de suelos y cobertura de bosque en el área de influencia al punto de captación.

El manganeso y el hierro son considerados por las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) como parámetros, cuya presencia en el agua de consumo, puede afectar la aceptabilidad de la misma por parte de los consumidores, pero que no representa un riesgo para la salud a las concentraciones normalmente encontradas en el agua de consumo. Las fuentes subterráneas por lo general contienen hierro ferroso (Fe^{+2}), que expuesto al oxígeno del aire y al ácido hipocloroso (utilizado en el proceso de desinfección) se oxida a hierro férrico (Fe^{+3}), otorgándole un color rojizo oscuro al agua y un sabor desagradable para los consumidores. A concentraciones mayores de 300 $\mu g/L$, el agua puede teñir y dañar tuberías y la ropa cuando se lava. La presencia de manganeso en el agua puede causar acumulación de sedimentos en la red de distribución. Concentraciones superiores a 100 $\mu g/L$ puede causar un sabor desagradable y causar manchas en la ropa y loza de baños y lavatorios. La presencia de alguno de estos metales en el agua, puede otorgarle color y turbiedad al agua.

El agua del acueducto BR-A-13-Coto 44 se consideró de calidad no potable, ya que se detectaron valores superiores al VMA de hierro, manganeso, color y conductividad eléctrica; estos parámetros afectan la apariencia estética del agua, provocando un rechazo de la misma por parte de los consumidores. También se detectó potasio por encima del VMA en el agua de este acueducto; sin embargo, según las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), la presencia del potasio en el agua para consumo no representa un riesgo para la salud de los consumidores, pero altas concentraciones le otorgan un sabor salado al agua, generando rechazo.

El agua de los acueductos BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11, 12 y 10, y BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9 se consideró de calidad no potable, debido a que se detectaron valores de color, conductividad eléctrica, hierro y manganeso por encima del VMA. Ambos acueductos, junto con BR-A-13-Coto 44, fueron considerados no potables en el 2015.

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral. A pesar de que varios estudios epidemiológicos han demostrado una relación positiva entre la ingesta de aluminio en el agua y la enfermedad de Alzheimer, el riesgo de desarrollar la enfermedad bajo una exposición de aluminio en el agua de consumo en concentraciones superiores a 100 µg/L, pareciera ser bajo. El grado de absorción de aluminio mediante la ingesta de agua permanece incierta, ya que depende de parámetros, como el pH para la especiación y solubilidad del aluminio (OMS, 2011). El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en el reporte 67^a del 2011, estableció la ingesta semanal tolerable provisional (*Provisional Tolerable Weekly Intake: PTWI*) de aluminio en 1 mg/kg. Con base en las especificaciones de las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), donde se le atribuye un 20 % del PTWI al agua para consumo y usan como referencia un adulto de 60 kg que ingiere al día 2 L de agua, se obtiene un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 0,9 mg/L.

El sulfato de aluminio se utiliza como coagulante-floculante en las plantas potabilizadoras de tratamiento convencional, para disminuir la turbiedad y la carga de microorganismos (OMS, 2011); su uso suele aumentar las concentraciones de aluminio en el agua tratada. En el agua de las plantas de tratamiento de Ciudad Cortés se detectó aluminio a una concentración superior al VMA ($Al^{3+} > 200,0 \mu g/L$); lo que indica una posible sobredosisificación de sulfato de aluminio durante el proceso de potabilización. Aunado a esto,

se detectó una turbiedad superior al VMA, que genera rechazo del agua por parte de los consumidores, debido a la deposición de flóculos provocados por el residual de sulfato de aluminio en la red de distribución, ya que continua interactuando con las partículas en el agua (OMS, 2011). Situación que no debe pasar desapercibida y puede remediarse optimizando el proceso de tratamiento.

El acueducto BR-A-12.2-Ciudad Neily (Viejo) presentó el día 21 de junio del 2016 valores de turbiedad y color superiores a sus respectivos VMA, en un muestreo puntual de la red de distribución. El promedio de ambos parámetros fue menor que el VMA; por lo tanto, el agua de acueducto se consideró de calidad potable.

El porcentaje de población abastecida en la RB con agua de calidad potable, en el 2016, decreció 1,2 % con respecto al 2015 (Cuadro 4.6). Se puede observar un aumento en la cobertura de agua de calidad potable en los cuatro años anteriores; pasando de 90 % de potabilidad en el 2012, a 98,8 % en el 2015 (Figura 4.1).

3.5.2. Conclusiones

- La RB suministró, mediante 24 acueductos, agua de calidad potable a 184.960 habitantes, lo que equivale al 97,6 % de la población de la región, y al 8,0 % de la población total abastecida por AyA.
- La calidad no potable se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos y físico-químicos.
- El acueducto BR-A-12.1-12.1-Ciudad Neily (Abrojo) suministró agua de calidad no potable, debido a que no cumplió con los criterios microbiológicos.
- La presencia del cloro residual en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales.
- El acueducto BR-A-13-Coto 44 suministró agua de calidad no potable, debido a los valores detectados de hierro, manganeso, color, turbiedad y conductividad eléctrica superiores al VMA.

- El agua de los acueductos BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11, 12 y 10, y BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9 se consideró de calidad no potable, debido a que se detectaron valores de color, conductividad eléctrica, hierro y manganeso por encima del VMA.
- En el agua tratada de la planta potabilizadora de Ciudad Cortés se detectaron concentraciones de aluminio superiores al VMA, lo que indica una posible sobredosificación de sulfato de aluminio durante el proceso de potabilización.
- En el 2016, la cobertura de agua potable en la RB disminuyó 1,2 % con respecto al 2015. Se observa un aumento en la cobertura de agua de calidad potable en los cuatro años anteriores; pasando de 90 % de potabilidad en el 2012, a 98,8 % en el 2015.

3.5.3. Recomendaciones

- Para el caso de los acueductos BR-A-13-Coto 44, BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11, 12 y 10, y BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9, se recomienda apegarse al Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, elaborado por la Comisión de Potabilización del AyA.
- Verificar los procesos de cloración en el acueducto BR-A-12.1-Ciudad Neily (Abrojo), donde se detectó presencia de indicadores fecales: adecuada dosificación de cloro y suficiente tiempo de contacto con el agua, continuidad en el proceso de desinfección, limpieza de tuberías y tanques.
- Controlar de manera adecuada la dosificación de sulfato de aluminio y el valor del pH durante el proceso de coagulación-floculación en las plantas de tratamiento de Ciudad Cortés, para evitar el incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de la red de distribución.

3.6. Región Pacífico Central

3.6.1. Discusión

En el 2016, la Región Pacífico Central (RPC) operó 27 acueductos, que le suministraron agua al 10,6 % del total de la población abastecida por AyA (244.121 personas) (Cuadro 4.2); en todos estos acueductos se aplicó cloración continua. La calidad no potable del agua se debió, tanto al incumplimiento de los criterios microbiológicos, como físico-químicos.

Según la clasificación por el Código de Colores, el 98,6 % de la población abastecida recibió agua de calidad excelente (nivel azul); el 0,3 % buena (nivel verde); el 0,4 % regular (nivel amarillo), y el 0,7 % mala (nivel naranja); ningún acueducto calificó con agua de nivel rojo (muy mala). De los 27 acueductos totales, en el nivel azul se ubicaron 23 acueductos, uno en el nivel verde, dos en el nivel amarillo y en el naranja el acueducto restante.

Para el 2016, la RPC presentó un total de 144 fuentes de abastecimiento; un 71 % correspondió a fuentes subterráneas (pozos), un 23 % a fuentes subsuperficiales (nacientes), y un 6 % a fuentes superficiales (ríos y quebradas) (Cuadro 1.2). De acuerdo al estudio realizado por Orozco y Solís (2016), los parámetros físico-químicos presentaron un papel más relevante en comparación a los microbiológicos, a la hora de determinar la calidad de las fuentes de abastecimiento subterráneas del AyA en el 2015.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados, tanto de fuentes de abastecimiento, como de red de distribución, cumplen en su mayoría con los criterios establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo N° 32327-S y Decreto Ejecutivo N° 38924 -S. En los Cuadros 3.6.1 al 3.6.6 se presenta el resumen de los parámetros que presentaron incumplimiento. Los análisis puntuales realizados a lo largo del año, se observan en los Apéndices. Durante el 2016, el LNA no atendió quejas en relación a la calidad del agua en la RPC.

Cuadro 3.6.1. Acueductos con niveles de color verdadero superiores al Valor Máximo Admisible (> 15,0 UPt-Co).

Fecha de muestreo	Subsistema	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (UPt-Co)
18/07/2016	PC-A-17-Barranca-El Roble-Chacarita	Puntarenas	20 de Noviembre	19
23/08/2016	PC-A-12.1-Línea Coyolar-Caldera	Orotina	Villa Nueva	21

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.6.2. Acueductos con niveles de turbiedad superiores al Valor Máximo Admisible (> 5,00 UNT).

Fecha de muestreo	Subsistema	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (UNT)
30/08/2016	PC-A-08-La Granja Arriba	Palmares	Red 3	8,7
			Red 4	6,9
23/08/2016	PC-A-12.1-Línea Coyolar-Caldera	Orotina	Villa Nueva	9,77

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.6.3. Acueductos con concentraciones de aluminio superiores al Valor Máximo Admisible (> 200,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
29/09/2016	PC-A-09-Paco Rodríguez	Palmares	Red 3	256,6
30/08/2016	PC-A-08-La Granja Arriba	Palmares	Red 3	353,0
30/08/2016			Red 4	348,9
31/05/2016	PC-A-21-Zagala-Villa	Puntarenas	Zagala 1	3997,9
08/11/2016	Bruselas-Cebadilla			2899,7

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.6.4. Acueductos con niveles de pH menores del rango inferior recomendado (< 6,00).

Fecha de muestreo	Subsistema	Cantón	Punto de muestreo	Resultados
08/11/2016	PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla	Puntarenas	Cebadilla	4,16
31/05/2016			Villa Bruselas 1	3,83
08/11/2016				4,08
31/05/2016			Zagala 1	3,74
08/11/2016				3,85

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.6.5. Acueductos con concentraciones de hierro superiores al Valor Máximo Admisible (> 300,0 µg/L).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mg/L)
24/02/2016	PC-A-20-El Llano de San Miguel de Barranca	Puntarenas	Red 1	311,6

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.6.6. Acueductos en los que se debe poner atención al nivel de conductividad eléctrica (> 500 µS/cm).

Fecha de muestreo	Acueducto	Cantón	Punto de muestreo	Resultados (mS/cm)
17/02/2016	PC-A-12.1-Línea Coyolar-Caldera	Orotina	Mata de Limón	625
21/04/2016	PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano	Puntarenas	Red 1	774
			Red 2	779
			Red 3	1005
			Red 4	479

Fuente: Área de Química Agua Potable, LNA.

En los Cuadros 3.6.7, y 3.6.8 se enumeran los acueductos que cumplieron o no con los criterios de los parámetros microbiológicos y físico-químicos.

Cuadro 3.6.7. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Pacífico Central para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos clorados que cumplen			
Alajuela			
San Ramón			
PC-A-03-Chayote de San Juan de San Ramón	100	Azul	6731
PC-A-04-Piedades Norte-La Paz-La Esperanza	96	Azul	4197
PC-A-02-San Juan de San Ramón	100	Azul	4420
PC-A-01-San Ramón	100	Azul	42294
San Mateo			
PC-A-11-Jesús María de San Mateo	100	Azul	1827
PC-A-10-San Mateo*	100	Azul	3756
Palmares			
PC-A-08-La Granja Arriba*	100	Azul	837
PC-A-09-Paco Rodríguez*	100	Azul	364
PC-A-06-Palmares-Zaragoza	100	Azul	25144
Puntarenas			
Puntarenas			
PC-A-17-Barranca-El Roble-Chacarita	98	Azul	61786
PC-A-25-Cóbano	96	Azul	3507
PC-A-22-Pitahaya-Aranjuez*	100	Azul	1841
PC-A-27-Pochote*	100	Azul	329
PC-A-18-Puntarenas	100	Azul	13349
PC-A-26-Tambor*	95	Azul	672
Esparza			
PC-A-13-Cerrillos-San Jerónimo*	100	Azul	753
PC-A-14-Esparza	98	Azul	20150
PC-A-12.1-Línea Coyolar-Caldera	100	Azul	7497
PC-A-12.2-Artieda-Cascabel*	100	Azul	144
Quepos			
PC-A-15-Quepos	99	Azul	19100
Parrita			
PC-A-16-Parrita	100	Azul	5212
Garabito			
PC-A-23-Jacó de Garabito	100	Azul	16307
Acueductos clorados que no cumplen			
Alajuela			

Cuadro 3.6.7. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos clorados de la Región Pacífico Central para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Palmares			
PC-A-07-Juan de Dios Vásquez de Palmares*	73	Amarillo	88
Puntarenas			
Puntarenas			
PC-A-19-Carmen Lyra-La Guaria-Mojoncito	85	Amarillo	809
PC-A-20-El Llano de San Miguel de Barranca	88	Verde	833

*Acueductos evaluados con un 90 % de negatividad para ser considerados como de calidad potable.

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

Cuadro 3.6.8. Calidad según criterios microbiológicos y físico-químicos de acueductos clorados de la Región Pacífico Central para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Criterio de parámetro físico-químico incumplido*	Población
Acueductos clorados que no cumplen				
Puntarenas				
Puntarenas				
PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano*	73	Naranja	Conductividad	1691
PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla*	100	Azul	Aluminio pH	438

*Incumplimiento considerado de riesgo para la salud del consumidor o que afecte la aceptabilidad por parte de los consumidores; se considera no potable.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

De los 27 acueductos de la RPC, 22 suministraron agua de calidad potable a 240.217 personas, equivalente al 98,4 % de la población abastecida por RPC (Cuadro 4.1 y 4.3), lo que corresponde a un 10,4 % de la población total abastecida por AyA (Cuadro 4.2). La calidad no potable del agua de la RPC se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos y físicoquímicos. Cinco acueductos suministraron agua de calidad no potable, de los cuales tres fueron debido al incumplimiento de los criterios físico-químicos, uno por incumplimiento de los microbiológicos, y uno por incumplimiento de ambos.

Los acueductos que no cumplieron con los criterios microbiológicos fueron PC-A-07-Juan de Dios Vásquez de Palmares, PC-A-19-Carmen Lyra-La Guaria-Mojoncito, PC-A-20-El

Llano de San Miguel de Barranca y PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano. En el agua de éstos se observó la presencia de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales, *E. coli*). A pesar de ser acueductos clorados, presentaron un porcentaje bajo en muestras positivas por cloro residual (89 %, 73 % y 44 %), salvo el acueducto PC-A-20-El Llano de San Miguel de Barranca. Esto podría deberse a distintas causas: tratamiento inadecuado, dosificación de cloro inadecuada, tiempo insuficiente de contacto del agua con el cloro, falta de continuidad del proceso de desinfección, posibilidad de una contaminación posterior al tratamiento, falta de limpieza de la tubería, conexiones cruzadas, falta de continuidad del servicio y zonas de baja presión; también se debe considerar que en las zonas de bajo consumo, donde el tiempo de residencia del agua en la tubería es alto, esto favorece la contaminación.

La RPC contó con ocho fuentes de abastecimiento superficiales (Cuadro 1.2), y solo dos plantas de tratamiento convencionales; es decir, que se abasteció a una parte de la población con agua superficial, que solo recibió tratamiento de desinfección. La ingesta de agua superficial sin el tratamiento adecuado, implica un grave riesgo para la salud de los consumidores, debido a que la calidad del agua es muy variable: depende de las condiciones climatológicas, uso de suelo y cobertura de bosque, desde el área de influencia, hasta el punto de captación. El artículo 18 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S) estipula que:

“Toda agua superficial utilizada para suministro de agua potable, debe recibir el tratamiento previo que la haga cumplir con los VMA establecidos en el presente reglamento, de igual manera se debe garantizar la eficiencia de la desinfección.”

Tampoco resulta conveniente mezclar agua superficial sin tratamiento convencional con agua subterránea en un sistema de abastecimiento de agua potable. Esto debido a que la calidad del agua superficial es muy variable, y varía según las condiciones climatológicas, uso de suelos y cobertura de bosque en el área de influencia al punto de captación.

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral. A pesar de que varios estudios epidemiológicos han demostrado una relación positiva entre la ingesta de aluminio en el agua y la enfermedad de Alzheimer, el riesgo de desarrollar la enfermedad bajo una exposición de aluminio en el agua de consumo en concentraciones superiores a 100 µg/L, pareciera ser bajo.

El grado de absorción de aluminio mediante la ingesta de agua permanece incierta, ya que depende de parámetros, como el pH para la especiación y solubilidad del aluminio (OMS, 2011). El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en el reporte 67^a del 2011, estableció la ingesta semanal tolerable provisional (*Provisional Tolerable Weekly Intake*: PTWI) de aluminio en 1 mg/kg. Con base en las especificaciones de las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), donde se le atribuye un 20 % del PTWI al agua para consumo y usan como referencia un adulto de 60 kg que ingiere al día 2 L de agua, se obtiene un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 0,9 mg/L.

Las concentraciones de aluminio detectadas en la red de distribución del acueducto PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla sobrepasaron el valor de riesgo para la salud de forma recurrente, con valores de (2-4) mg/L; por ende, la calidad del agua del acueducto se consideró de calidad no potable. Además, el acueducto presentó niveles bajos de pH (inferiores a 4), lo cual es frecuente cuando se observan altas concentraciones de aluminio.

El potencial hidrógeno o pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, que indica la concentración de iones hidrógenos presentes en las disoluciones. Las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) no establecen valores de referencia de riesgo para la salud para el pH; ya que normalmente no genera ningún impacto directo en los consumidores. Un pH ácido (menores a 6,0) fomenta que se disuelvan los metales de la corteza terrestre en el agua, variando la calidad del agua y su riesgo asociado, tal como sucede con el acueducto PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla. La UEN de Investigación y Desarrollo del AyA, estableció una planta piloto para la de remoción de aluminio mediante una resina de intercambio iónico, además de ajustes en el pH y filtración (J. Merizalde, UEN Investigación y Desarrollo, comunicación personal, septiembre, 19, 2016).

El agua de los acueductos PC-A-08-La Granja Arriba y PC-A-09-Paco Rodríguez, donde se detectaron concentraciones de aluminio superiores al VMA, se consideró de calidad potable, ya que las concentraciones fueron inferiores al valor de referencia de riesgo (9 mg/L). Tampoco presentaron valores de pH ácidos.

Las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) consideran al hierro como un parámetro, cuya presencia en el agua de consumo puede afectar la aceptabilidad de la misma por parte de los consumidores, pero que no representa un riesgo para la salud a las

concentraciones normalmente encontradas en el agua de consumo. La concentración de hierro superiores al VMA observadas en el acueducto PC-A-20-El Llano de San Miguel de Barranca, no representa un riesgo para la salud del consumidor, y el promedio de los puntos de la red de distribución fue menor al VMA. Por lo tanto, la calidad del agua de estos acueductos se consideró potable.

El acueducto PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano, además de incumplir con los criterios microbiológicos, presentó conductividades eléctricas de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 1005 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual indica que hay concentraciones altas de sales disueltas en el agua. Durante el 2016, no se realizaron análisis de los parámetros de los niveles 2 y 3 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015); por lo que no se cuenta con datos de concentración de metales ni iones en el agua. En el 2015, la Naciente del acueducto PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano presentó concentraciones de calcio superiores al VMA, además, de altos niveles de conductividad eléctrica en el resto de sus fuentes de abastecimiento y en la red de distribución, con un promedio de 726 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos elevados valores, se debieron posiblemente a las altas concentraciones de carbonato de calcio intrínsecas de la zona. En el 2015, el agua del acueducto se consideró de calidad no potable; ya que es rechazada por los consumidores debido su sabor (Orozco & Urbina, 2016). La región de Santa Teresa es uno destino turístico muy popular, por lo que, es visitada por personas de distintas partes del mundo que no están acostumbrados al sabor natural del agua dura.

El acueducto PC-A-17-Barranca-El Roble-Chacarita presentó un análisis puntual con un nivel de color superior al VMA, pero el promedio de los puntos de la red de distribución fue inferior. Un caso similar ocurre con el acueducto PC-A-08-La Granja Arriba, en el cual se detectaron niveles de turbiedad por encima del VMA, pero que su promedio fue inferior. El agua del acueducto de PC-A-12.1-Línea Coyolar-Caldera presentó niveles de color, turbiedad y conductividad por encima del VMA; pero sus promedios fueron menores. Los tres acueductos fueron considerados de calidad potable.

La cobertura de agua potable en la RPC se mantuvo igual con respecto al 2015 en un 98,4 % (Cuadro 4.6). El porcentaje de potabilidad del agua pareciera mantenerse en 99 % \pm 0,5 % desde el 2012 hasta la fecha (Figura 4.1).

3.6.2. Conclusiones

- La RPC suministró, mediante 22 acueductos, agua de calidad potable a 240.217 habitantes, lo que equivale al 98,4 % de la población de la región, y al 10,4 % de la población total abastecida por AyA.
- Los acueductos PC-A-07-Juan de Dios Vásquez de Palmares, PC-A-19-Carmen Lyra-La Guaria-Mojoncito, PC-A-20-EI Llano de San Miguel de Barranca y PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano suministraron agua de calidad no potable, debido a que no cumplieron con los criterios microbiológicos.
- La presencia del cloro en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales, ni la ausencia de cloro supone la presencia de los microorganismos.
- El agua del acueducto de PC-A-21-Zagal-Villa Bruselas-Cebadilla se consideró de calidad no potable, debido a que se detectaron de forma recurrente, concentraciones de aluminio superiores al valor de riesgo para la salud (0,9 mg/L), además de valores de pH inferiores a 4.
- El agua del acueducto PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano presentó conductividades eléctricas de hasta 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que sugiera la presencia de elevadas concentraciones de sales disueltas.
- La cobertura de agua potable en la RPC se mantuvo igual con respecto al 2015 en un 98,4 %. El porcentaje de potabilidad del agua pareciera mantenerse en 99 % \pm 0,5 % desde el 2012 hasta la fecha.

3.6.3. Recomendaciones

- Realizar los análisis correspondiente de los parámetros de los niveles 2 y 3 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015), con la debida frecuencia, en el acueducto PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano. De ser el caso, se recomienda apegarse al Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, elaborado por la Comisión de Potabilización del

AyA.

- Adoptar las medidas que surjan a partir del proyecto de la planta piloto para remoción de aluminio, que lleva a cabo la UEN de Investigación y Desarrollo del AyA, en el acueducto PC-A-21-Zagal-Villa Bruselas-Cebadilla.
- Verificar los procesos de cloración en los acueductos PC-A-07-Juan de Dios Vásquez de Palmares, PC-A-19-Carmen Lyra-La Guaria-Mojoncito, PC-A-20-EI Llano de San Miguel de Barranca y PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano, donde se detectó presencia de indicadores fecales: adecuada dosificación de cloro y suficiente tiempo de contacto con el agua, continuidad en el proceso de desinfección, limpieza de tuberías y tanques.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL

La población total abastecida por los acueductos operados por AyA en Costa Rica, en el 2016, fue de 2.307.265 personas. Un 99,5 % fue abastecido con agua clorada, y el resto (5.619 habitantes), repartidos entre la RAM, la RHA y la RC, recibieron agua no clorada (Cuadro 1.1). Un 98,9 % (2.282.639 habitantes) recibió agua de calidad potable (Cuadro 4.2), que se redondea a un 99 %; esto equivale al 46,7 % de la población nacional.

Cuadro 4.1. Número de sistemas de los acueductos operados por AyA por región según calidad del agua de consumo en el 2016.

Región	Totales				Clorados			No clorados			
	Potable	No potable	SE	Total	Potable	No potable	Total	Potable	No potable	SE	Total
Área Metropolitana	27	13	0	40	27	4	31	0	9	0	9
Brunca	24	4	0	28	24	4	28	0	0	0	0
Central	33	3	2	38	33	0	33	0	3	2	5
Chorotega	51	4	0	55	51	4	55	0	0	0	0
Huetar Atlántica	15	1	0	16	14	0	14	1	1	0	2
Pacífico Central	22	5	0	27	22	5	27	0	0	0	0
Totales	172	30	2	204	171	17	188	1	13	2	16

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

Los porcentajes de potabilidad se calcularon con base en la población abastecida con agua de calidad potable. Estos porcentajes varían en función del número de habitantes de los acueductos clasificados como no potables. Es decir, un acueducto que suministre agua no potable a 30.000 personas, va a reducir considerablemente el porcentaje de potabilidad, que uno que suministre agua no potable a 500 personas.

En los Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3 se detallan el número de acueductos operados por AyA y las poblaciones abastecidas, de acuerdo a la calidad del agua suministrada en el 2016. El Cuadro 4.2 muestra porcentajes de poblaciones abastecidas con respecto a la población total abastecida por AyA; mientras que, el Cuadro 4.3 muestra porcentajes de poblaciones abastecidas con respecto a la población abastecida por cada región. Los Cuadros 4.4 y 4.5 presentan los porcentajes de poblaciones abastecidas en los acueductos clorados y no

clorados respectivamente, contra el total de la población abastecida por cada región.

Cuadro 4.2. Calidad del agua en acueductos administrados por AyA según población total abastecida durante el 2016.*

Región	Población abastecida		Calidad del agua					
			Potable		No potable		Sin evaluar	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Área Metropolitana	1255199	54,40	1246290	54,02	8909	0,39	0	0,00
Brunca	189441	8,21	184960	8,02	4481	0,19	0	0,00
Central	147731	6,40	147617	6,40	48	0,00	66	0,00
Chorotega	240431	10,42	234913	10,18	5518	0,24	0	0,00
Huetar Atlántica	230342	9,98	228642	9,91	1700	0,07	0	0,00
Pacífico Central	244121	10,58	240217	10,41	3904	0,17	0	0,00
Totales	2307265	100,00	2282639	98,93	24560	1,06	66	0,00

*Porcentajes con respecto a la población total abastecida por AyA.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 4.4. Calidad del agua en acueductos clorados administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2016.

Región	Población abastecida		Calidad del agua acueductos clorados					
			Potable		No potable		Sin evaluar	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Área Metropolitana	1251404	100,00	1246290	99,59	5114	0,41	0	0,00
Brunca	189441	100,00	184960	97,63	4481	2,37	0	0,00
Central	147617	100,00	147617	100,00	0	0,00	0	0,00
Chorotega	240431	100,00	234913	97,70	5518	2,30	0	0,00
Huetar Atlántica	228632	100,00	228632	100,00	0	0,00	0	0,00
Pacífico Central	244121	100,00	240217	98,40	3904	1,60	0	0,00
Totales	2301646	100,00	2282629	99,17	19017	0,83	0	0,00

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 4.5. Calidad del agua en acueductos no clorados administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2016.

Región	Población abastecida		Calidad del agua acueductos no clorados					
			Potable		No potable		Sin evaluar	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Área Metropolitana	3795,00	100,00	0	0,00	3795	100,00	0	0,00
Central	114,00	100,00	0	0,00	48	42,11	66,00	57,89
Huetar Atlántica	1710,00	100,00	10	0,58	1700	99,42	0	0,00
Totales	5619	100,00	10	0,18	5543	98,65	66	1,17

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

En los Cuadros 4.6 y 4.7 se enumeran los acueductos clorados y no clorados, operados por AyA, de calidad no potable por incumplimiento de los criterios microbiológicos. En el Cuadro 4.8 se enumeran los acueductos de calidad no potable por incumplimiento de los criterios físico-químicos.

Cuadro 4.6. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos no potables clorados operados por AyA para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos clorados que no cumplen			
San José			
Alajuelita			
ME-A-03.1-El Llano: Sector Planta de Tratamiento	92	Azul	2684
Escazú			
ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú*	0	Rojo	45
ME-A-29-San Antonia de Escazú: Sector Naciente Lajas*	82	Verde	2275
Santa Ana			
ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla*	25	Rojo	110
Alajuela			
Palmares			
PC-A-Juan de Dios Vásquez de Palmares*	73	Amarillo	88
Guanacaste			
Bagaces			
CH-A-45-Montenegro y Agua Caliente de Bagaces*	82	Verde	1848

Cuadro 4.6. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos no potables clorados operados por AyA para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Código de colores	Población
Tilarán			
CH-A-22.2-Buenos Aires*	88	Verde	1706
Puntarenas			
Corredores			
BR-A-12.1-Ciudad Neily (Abrojo)*	92	Verde	3724
Puntarenas			
PC-A-19-Carmen Lyra-La Guaria-Mojoncito*	85	Amarillo	809
PC-A-20-El Llano de San Miguel de Barranca*	88	Verde	833
PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano**	73	Amarillo	1691

*Acueductos evaluados con un 90 % de negatividad para ser considerados como de calidad potable.

**No cumple los criterios físico-químicos al presentar muy altos valores de conductividad eléctrica.

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

Cuadro 4.7. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos no potables no clorados operados por AyA para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad <i>Escherichia coli</i>	Xg Coliformes fecales	Código de colores	Población
Acueductos no clorados que no cumplen				
San José				
Escazú				
ME-A-25.4-Calle El Alto de Escazú	50	1,94	Amarillo	110
ME-A-25.3-Bebedero de Escazú: Sector no clorado	67	1,00	Amarillo	128
ME-A-25.5-Calle Higuerones de Escazú	0	59,40	Anaranjado	438
ME-A-25.6-Escazú: Sistema La Mina	11	40,52	Amarillo	875
ME-A-25.8-San Antonio de Escazú: Sector Los Roques	44	4,32	Amarillo	107
Alajuelita				
ME-A-03.2-El Llano: Sector Naciente La Cascabela	56	2,50	Amarillo	306
ME-A-03.3-El Llano: Sector Naciente La Cruz	75	2,18	Verde	306
ME-A-09.2-Linda Vista de San Josecito	50	3,63	Amarillo	475
ME-A-18-Lámparas de San Antonio de Alajuelita	8	91,19	Anaranjado	1050
Turrubares				
CO-A-29-Calle Pérez	0	822,59	Rojo	31

Cuadro 4.7. Calidad según criterios microbiológicos de los acueductos no potables no clorados operados por AyA para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad <i>Escherichia coli</i>	Xg Coliformes fecales	Código de colores	Población
CO-A-30-Camarón	0	36,12	Rojo	7
CO-A-31-Quebrada La Plata	50	7,42	Amarillo	10
Limón				
Pococí				
HA-A-14.2-Barrio Los Ángeles (sector no clorado)	64	2,24	Amarillo	1700

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA

Cuadro 4.8. Calidad según criterios físico-químicos de acueductos no potables operados por el AyA para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Criterio de parámetro físico-químico incumplido*	Población
Acueductos clorados que no cumplen			
Puntarenas			
Corredores			
BR-A-13-Coto 44	100	Manganeso Hierro Color	217
Puntarenas			
PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano**	73	Conductividad	1691
PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla*	100,00	Aluminio Turbiedad	483
Osa			
BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11, 12 y 10	94	Color Manganeso	343
BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9	100	Color Hierro	197
Guanacaste			
Liberia			
CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique	100	Conductividad Calcio Dureza total Cloruros Magnesio	1106

Cuadro 4.8. Calidad según criterios físico-químicos de acueductos no potables operados por el AyA para el periodo 2016.

Sistema/Cantón	% Negatividad coliformes fecales	Criterio de parámetro físico-químico incumplido*	Población
CH-A-56-Curubandé de Liberia	100	Manganeso	858
		Hierro	
		Aluminio	
		pH	
		Fluoruros	

*Incumplimiento considerado de riesgo para la salud del consumidor o que afecte la aceptabilidad por parte de los consumidores; se considera no potable.

**No cumple los criterios microbiológicos por tener un 73 % de negatividad.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

La provincia con mayor número de personas abastecidas por acueductos operados por AyA, para el 2016, fue San José con 1.311.266 habitantes; mientras que Cartago y Heredia fueron las provincias donde menor cantidad de habitantes se abastecieron mediante acueductos operados por AyA, siendo 25.164 habitantes y 31.020 habitantes respectivamente. Los acueductos operados por AyA en Heredia y Cartago abastecieron con agua potable al 100 % de su población. Puntarenas fue la provincia que presentó la menor cobertura de agua potable, con un 96,8 %. El resto de las provincias presentaron una cobertura de entre 97,5 % a 99,9 % (Cuadro 4.9).

El número total de acueductos operados por AyA, durante el 2016, por provincia, así como su calidad y la aplicación de desinfección se resume en el Cuadro 4.10. De los 16 acueductos no clorados, 14 se ubican la provincia de San José: cinco en el cantón de Escazú, cuatro en Alajuelita y cinco en Turrubares; y los restantes dos acueductos no clorados se ubican en la provincia de Limón: uno en el cantón de Limón y otro en Pococí.

Cuadro 4.9. Calidad del agua en acueductos operados por AyA según población abastecida por provincia en el 2016.

Provincia	Total	Potable		No potable		Sin Evaluar		Clorados	
	No.	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
San José	1311266	1302243	99,31	8957	0,68	66	0,01	1307357	99,70
Alajuela	210168	210080	99,96	88	0,04	0	0,00	210168	100,00
Cartago	25164	25164	100,00	0	0,00	0	0,00	25164	100,00
Heredia	31020	31020	100,00	0	0,00	0	0,00	31020	100,00
Guanacaste	236980	231462	97,67	5518	2,33	0	0,00	236980	100,00
Puntarenas	262325	254028	96,84	8297	3,16	0	0,00	262325	100,00
Limón	230342	228642	99,26	1700	0,74	0	0,00	228632	99,26
Totales	2307265	2282639	98,93	24560	1,06	66	0,00	2301646	99,76

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 4.10. Número de acueductos operados por AyA por provincia según calidad del agua de consumo en el 2016.

Provincia	Total	Potable	No Potable	Sin Evaluar	Clorados
San José	55	37	16	2	41
Alajuela	31	30	1	0	31
Cartago	8	8	0	0	8
Heredia	1	1	0	0	1
Guanacaste	54	50	4	0	54
Puntarenas	39	31	8	0	39
Limón	16	15	1	0	14
Totales	204	172	30	2	188

Fuente: Área de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

Cuadro 4.11. Cobertura de tecnología de potabilización y desinfección del agua según grupos de población por provincia en los acueductos operados por AyA en el 2016.

Regiones	Grupos de Población																																																																																																															
	Totales							> 50000																					20000 - 50000																					2501 - 20000																					501 - 2500																					< 500																				
	Total	Tratamiento		Desinfección		Total	Tratamiento		Desinfección		Total	Tratamiento		Desinfección		Total	Tratamiento		Desinfección		Total	Tratamiento		Desinfección		Total	Tratamiento		Desinfección		Total	Tratamiento		Desinfección																																																																														
		Sí	No	Sí	No		Sí	No	Sí	No		Sí	No	Sí	No		Sí	No	Sí	No		Sí	No	Sí	No		Sí	No	Sí	No		Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No																																																																									
RAM	40	11	29	31	9	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	12	8	4	12	0	11	2	9	9	2	15	0	15	8	7																																																																																		
RHA	16	4	12	14	2	2	1	1	2	0	3	1	2	3	0	4	1	3	4	0	6	1	5	5	1	1	0	1	0	1																																																																																		
RCH	55	7	48	55	0	1	1	0	1	0	2	1	1	2	0	13	1	12	13	0	25	2	23	25	0	14	2	12	14	0																																																																																		
RC	38	4	34	33	5	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	8	2	6	8	0	9	1	8	9	0	20	1	19	15	5																																																																																		
RB	28	3	25	28	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	10	2	8	10	0	9	0	9	9	0	7	0	7	7	0																																																																																		
RPC	27	4	23	27	0	1	1	0	1	0	3	0	3	3	0	10	3	7	10	0	8	0	8	8	0	5	0	5	5	0																																																																																		
Totales	204	33	171	188	16	7	5	2	7	0	10	2	8	10	0	57	17	40	57	0	68	6	62	65	3	62	3	59	49	13																																																																																		

Fuente: Área de Microbiología, Laboratorio Nacional de Aguas, AyA

El Cuadro 4.11 se detalla la cobertura de tecnología de potabilización y desinfección del agua según grupos de población por región, de los acueductos operados por AyA en el 2016. De los 204 acueductos totales, 33 recibieron tratamiento convencional para potabilizar el agua, es decir, poseen plantas potabilizadoras de tratamiento convencional; de los cuales, 11 pertenecen a la RAM; siete a RCH, tres a RB, y cuatro a cada una de las regiones restantes (RC, RPC y RHA). El tratamiento convencional incluye procesos de sedimentación de partículas, coagulación-floculación, filtración y desinfección; para efectos del presente informe, el proceso de cloración por sí solo, no se consideró como tratamiento convencional, si no como desinfección; los procesos de remoción de contaminantes químicos (como hierro, manganeso y arsénico) tampoco fueron considerados como tratamiento convencional.

Cuadro 4.12. Acueductos no clorados operados por AyA por región que suministraron agua de calidad no potable del 2007 al 2016.

Año	Área Metropolitana		Huetar Atlántica		Chorotega		Central		Brunca		Pacífico Central		Total	
	Total	NP	Total	NP	Total	NP	Total	NP	Total	NP	Total	NP	Total	NP
	2007	11	7	2	1	0	0	7	3	0	0	0	0	20
2008	10	7	2	1	0	0	8	1	0	0	0	0	20	9
2009	10	6	2	1	0	0	8	1	0	0	0	0	20	8
2010	10	9	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	13	10
2011	11	4	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	14	5
2012	11	6	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	14	8
2013	12	9	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	14	10
2014	11	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	7
2015	11	9	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13	10
2016	9	9	2	1	0	0	5	3	0	0	0	0	16	13

Fuente: Área de Microbiología Agua Potable, LNA.

En el 2016, el porcentaje de población abastecida con agua de calidad potable, proveniente de acueductos operados por AyA, aumentó 0,2 % con respecto al 2015. El porcentaje de potabilidad del agua se ha venido incrementando en los últimos cinco años, pasando de 98,3 % de potabilidad en el 2012, a 98,9 % en el 2016 (Figura 4.2). La región que presentó la mayor cobertura con agua potable fue la RC con 99,9 %; mientras que la RB presentó la menor cobertura con 97,6 % (Figura 4.1).

El número de acueductos no clorados, así como el de los que suministraron agua no potable, en las regiones operativas del AyA en los últimos diez años, se resume en el Cuadro 4.12. Se puede observar un descenso en el número de acueductos no clorados, al igual que en la cobertura (población que recibe agua no clorada) (Figura 4.3); para el 2016 solo la RAM, RHA y RC presentaron acueductos no clorados (Figura 4.4). No obstante, la proporción de acueductos no potables sobre acueductos no clorados, se incrementó en los últimos diez años, pasando de ser aproximadamente el 50 % en 2007, a más del 80 % en 2016 (Figura 4.3).

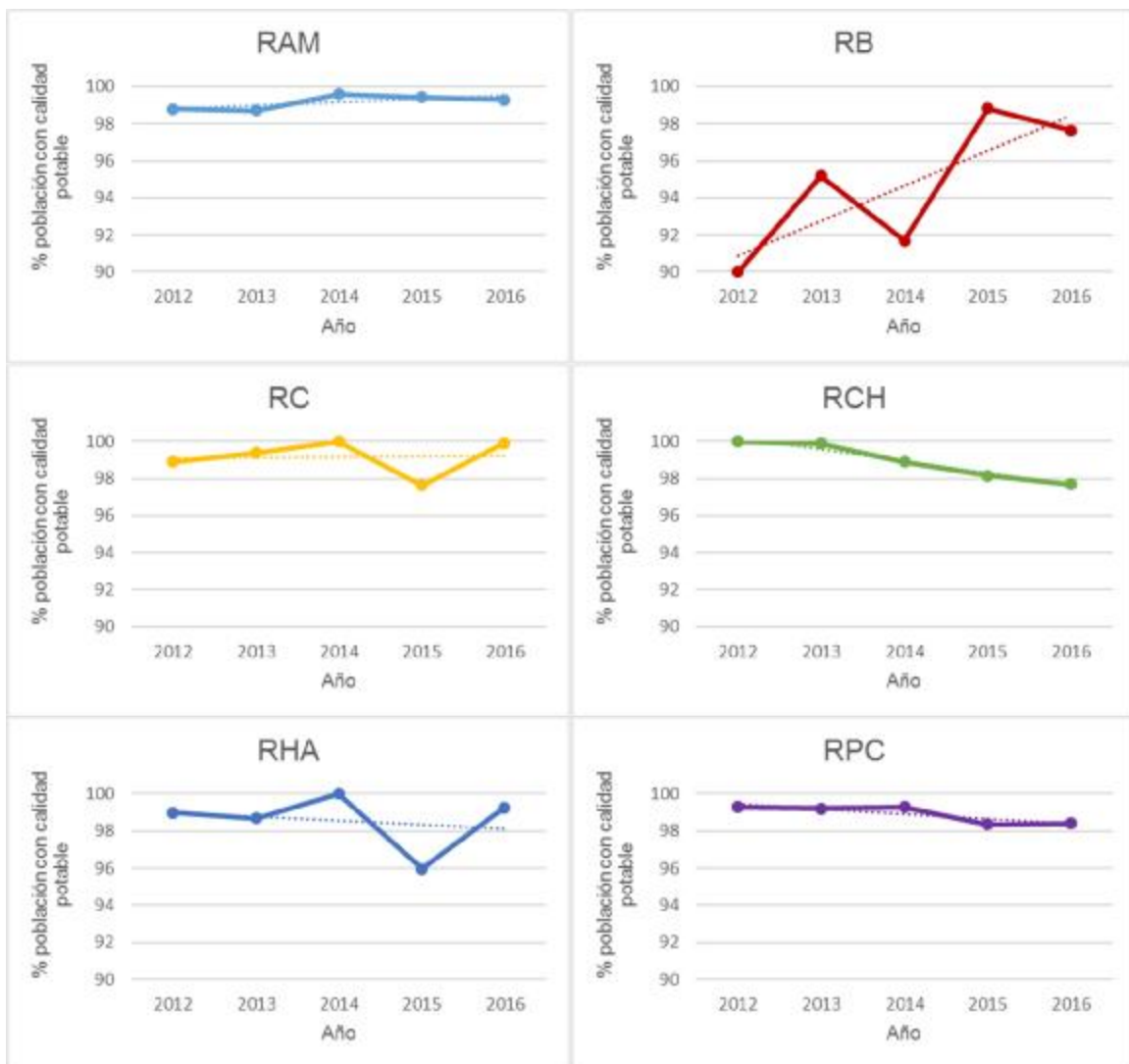


Figura 4.1. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en cada región del AyA en los últimos cinco años.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

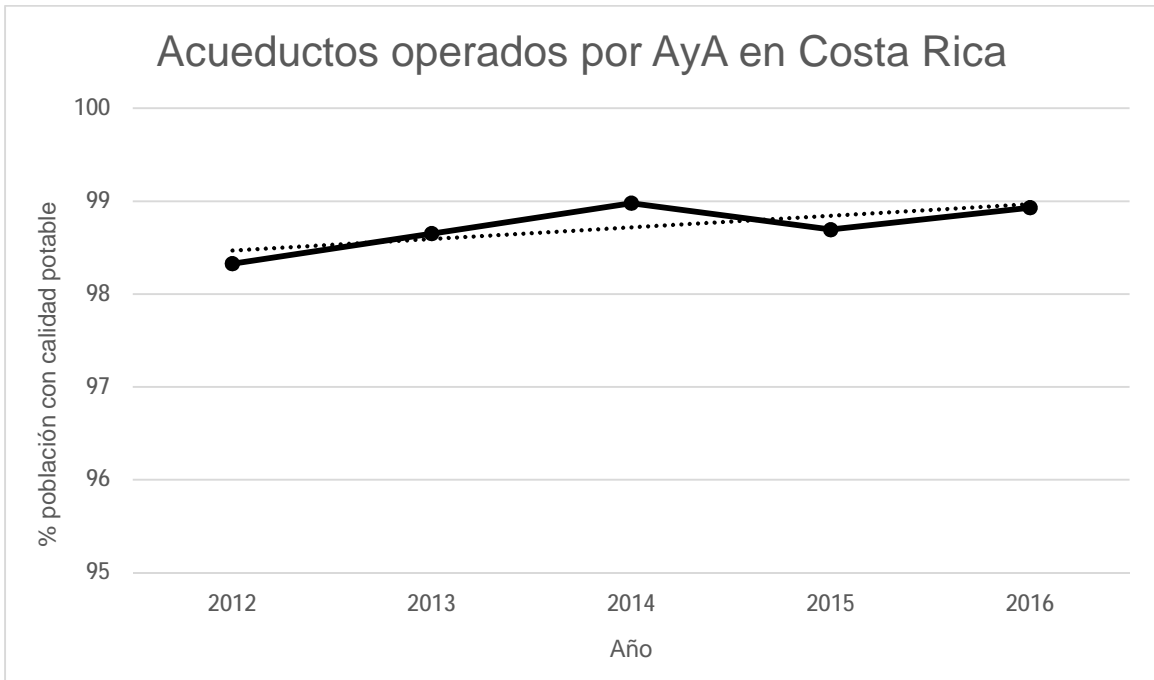


Figura 4.2. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en acueductos del AyA en los últimos cinco años.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.



Figura 4.3. Acueductos no clorados operados por AyA que suministraron agua de calidad no potable del 2007 al 2016.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

La finalidad principal de la cloración es la desinfección microbiana (OMS, 2013). El Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S) estipula en el artículo 17 el uso de cloro residual como agente desinfectante, con el fin de mantener un nivel de cloro residual libre que garantice la calidad del agua, ante eventuales contaminaciones en la red de distribución. El documento establece un valor alerta y un valor máximo admisible de (0,3 y 0,6) mg/L respectivamente, permitiendo valores de hasta 0,8 mg/L en no más del 20 % de las muestras medidas y en situaciones de emergencia calificadas por el Ministerio de Salud. Una adecuada concentración de cloro residual libre protege el agua de una posible recontaminación entre el punto de cloración y el punto de consumo (OMS, 2013).

De los 16 acueductos no clorados, solo HA-A-11.2-Las Delicias de Pocora suministró agua de calidad potable; CO-A-27-Purires Arriba y CO-A-28-Purires Abajo no fueron evaluados, y los restantes 13 acueductos no clorados suministraron agua de calidad no potable, debido al incumplimiento de los criterios microbiológicos. Resultado que evidencia la acción desinfectante del cloro y su importancia en el tratamiento de potabilización, especialmente de las aguas superficiales.

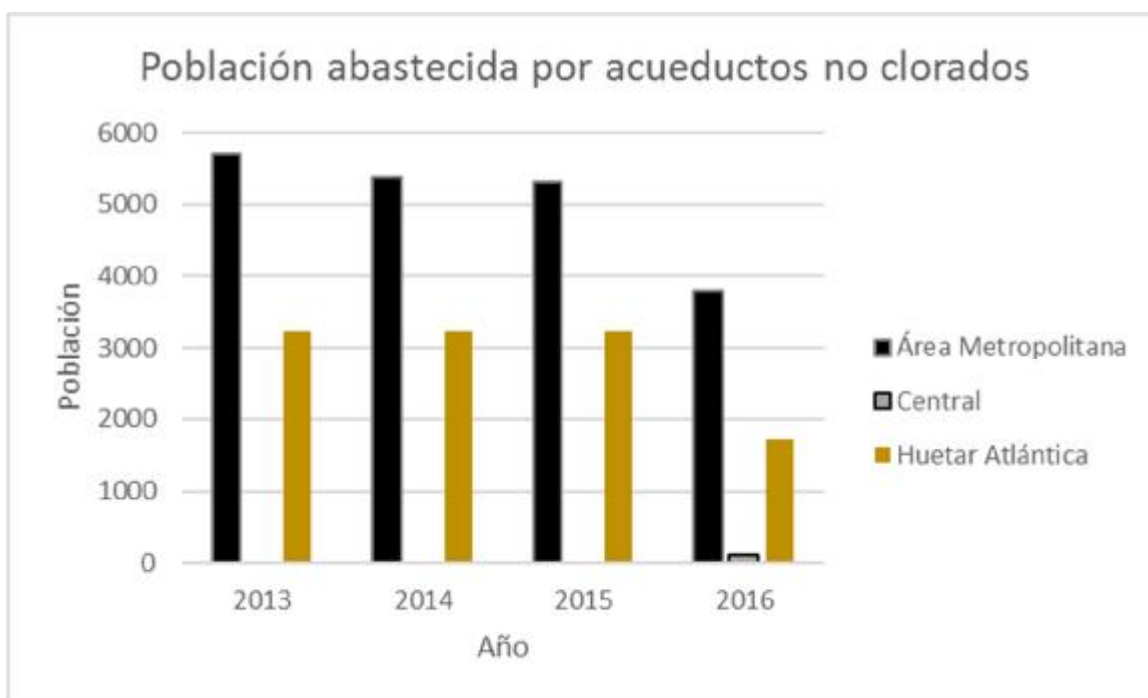


Figura 4.4. Población abastecida por acueductos no clorados operados por AyA del 2013 al 2016.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

La creación de estos cinco acueductos no clorados pertenecientes a la RC, surge de la necesidad de abastecer a 114 habitantes, que se ubican fuera de la zona de presión de los tanques del acueducto clorado CO-A-26-San Pedro y San Pablo de Turrubares; es decir, no pueden ser abastecidos por el acueducto clorado, ya que el agua se suministra por gravedad y los usuarios de estos cinco acueductos se localizan en una zona de mayor altitud que la de los tanques (D. Agüero y A. Ulloa, Oficina de Turrubares de AyA, comunicación personal, mayo, 5, 2017). Como solución inmediata, se optó por suministrar agua potable por medio de camiones cisterna a los sectores de la población afectada, dos veces por semana.

Los acueductos clorados que suministraron agua que incumplió los criterios microbiológicos fueron: ME-A-03.1-El Llano: Sector Planta de Tratamiento, del cantón de Alajuelita; ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú y ME-A-29-San Antonia de Escazú: Sector Naciente Lajas; ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla, del cantón de Santa Ana; PC-A-Juan de Dios Vásquez de Palmares; CH-A-45-Montenegro y Agua Caliente de Bagaces; CH-A-22.2-Buenos Aires, del cantón de Tilarán; BR-A-12.1-Ciudad Neily (Abrojo), del cantón de Corredores; PC-A-19-Carmen Lyra-La Guaria-Mojoncito, PC-A-20-El Llano de San Miguel de Barranca y PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano, los tres del cantón de Puntarenas. En el agua de estos acueductos se detectó la presencia de coliformes fecales y/o *Escherichia coli* en las muestras de agua; aun cuando se clasifican como acueductos clorados. Esto puede indicar un tratamiento de desinfección deficiente, dosificación de cloro inadecuada, tiempo insuficiente de contacto entre el agua con el cloro, falta de continuidad del proceso de desinfección, posibilidad de una contaminación posterior al tratamiento y falta de limpieza de la tubería. Además, se debe considerar que en las zonas de bajo consumo donde el tiempo de residencia del agua en la tubería es alto, esto favorece la contaminación; falta de limpieza de la tubería, conexiones cruzadas, falta de continuidad del servicio y zonas de baja presión.

La presencia del cloro en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales, ni la ausencia de cloro supone la presencia de los microorganismos. Sin embargo, se hace evidente la acción del cloro, cuando se compara la negatividad por coliformes fecales entre los acueductos clorados (alta negatividad) y los no clorados de la RAM, RC y RHA (baja negatividad). Un 0,8 % de la población abastecida por los acueductos clorados recibieron agua de calidad no potable (por incumplimiento de criterios microbiológico y físico-químicos); mientras que, para los acueductos no clorados, fue un 98,6 % (por incumplimiento solo de criterios microbiológicos) (ver Cuadros 4.4 y 4.5, y Figura 4.5).

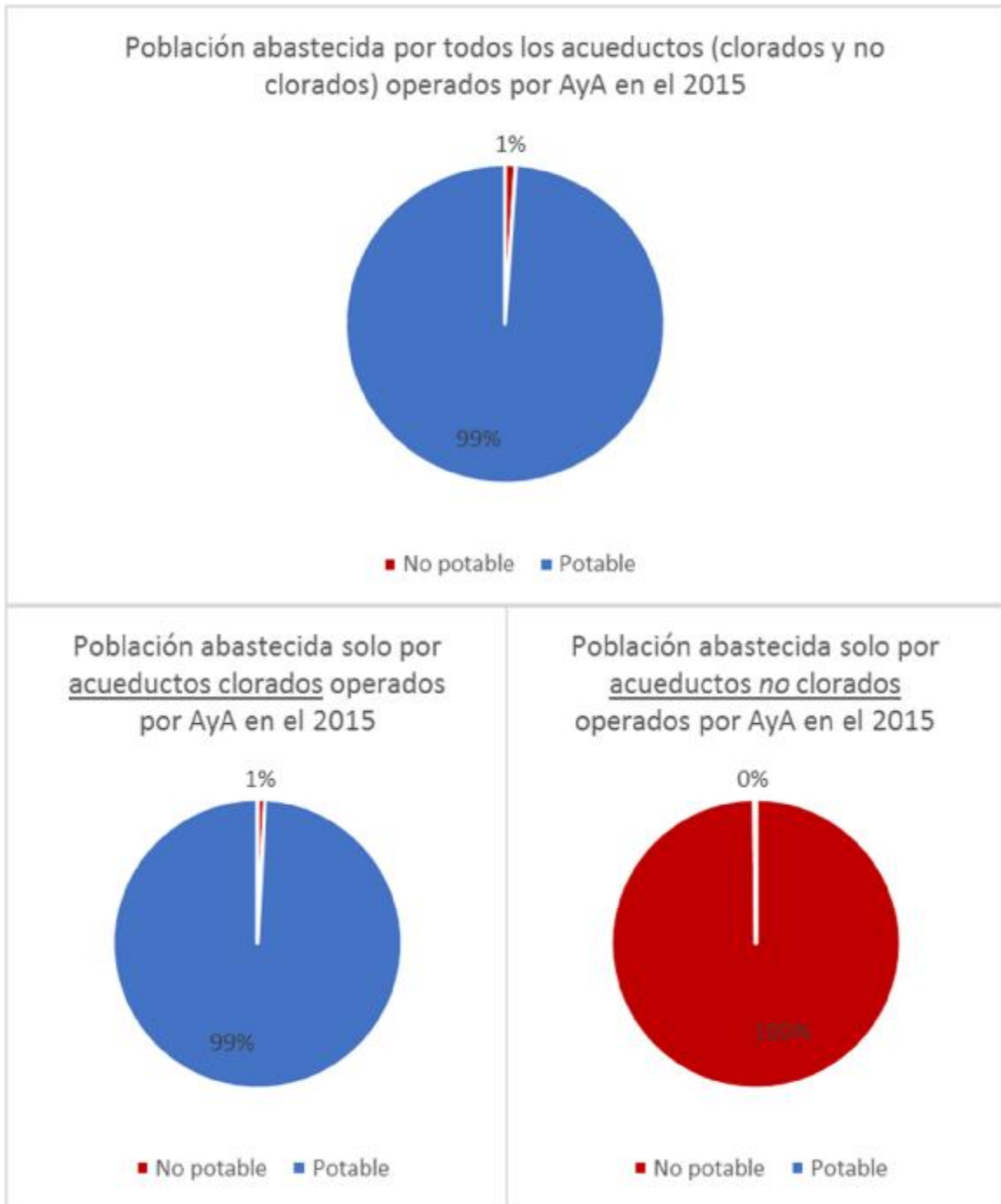


Figura 4.5. Población abastecida con agua de calidad potable y no potable de acueductos operados por AyA en el 2016.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

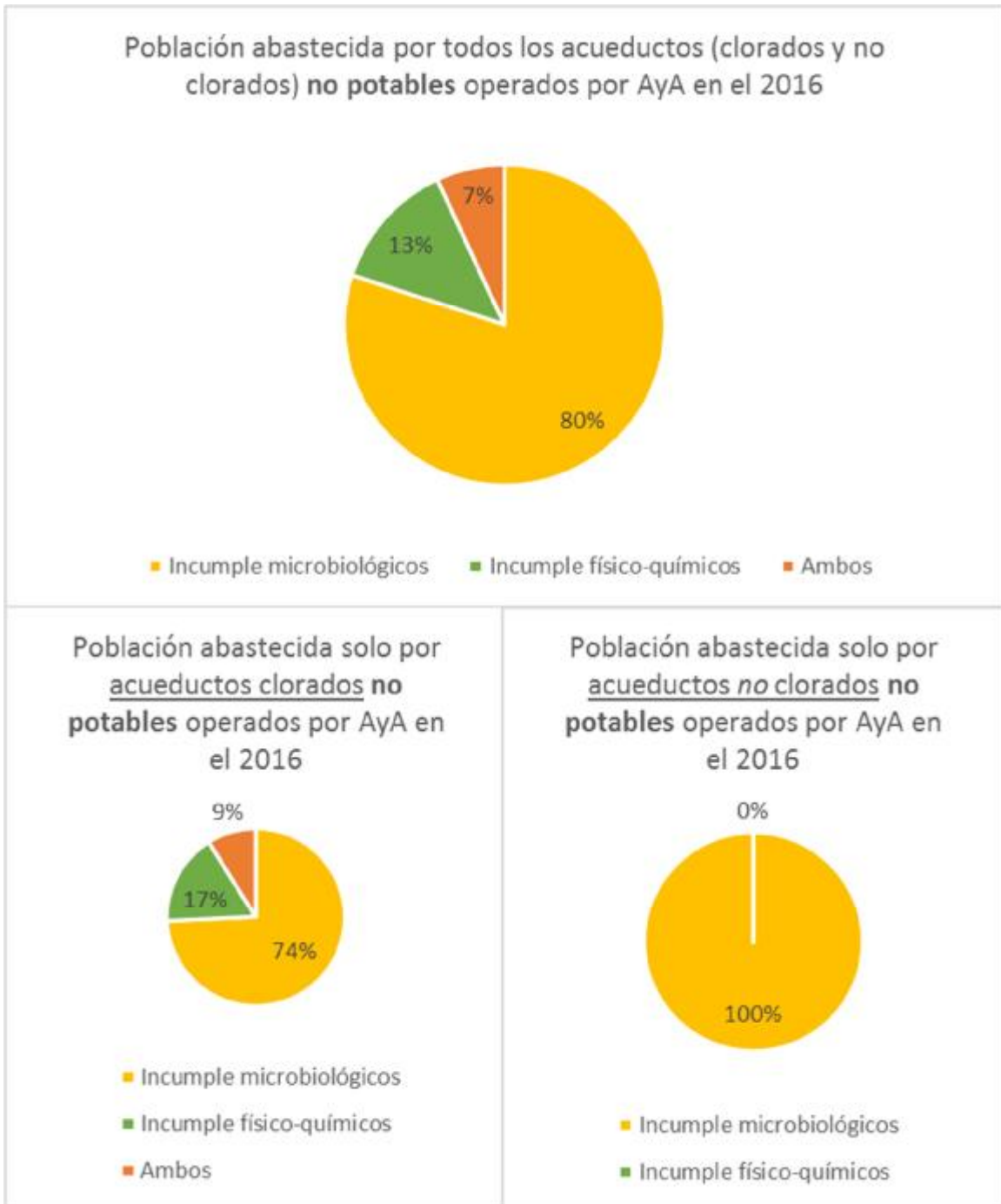


Figura 4.6. Población abastecida con agua de calidad no potable de acueductos operados por AyA en el 2016.

Fuente: Áreas de Microbiología y Química Agua Potable, LNA.

El agua de las fuentes subsuperficiales y subterráneas, normalmente no presenta niveles altos de turbiedad, y se podría aplicar cloración sin un tratamiento previo para remover la materia orgánica y sedimentos. En cambio, las fuentes superficiales se encuentran expuestas a la contaminación y precisan de un tratamiento previo (para bajar turbiedad y color) antes de aplicar cloración. La alta turbiedad en el agua es un factor que imposibilita la cloración del agua, debido a que la acción del cloro se vuelve ineficiente, logrando pasar desapercibidos los microorganismos entre la materia orgánica (Hussein, y otros, 2015). El reglamento establece un valor de alerta de 1 UNT y un valor máximo admisible de 5 UNT.

La ingesta de agua superficial sin el tratamiento adecuado, implica un grave riesgo para la salud de los consumidores, debido a que la calidad del agua es muy variable: depende de las condiciones climatológicas, uso de suelo y cobertura de bosque, desde el área de influencia, hasta el punto de captación. El Decreto Ejecutivo N° 38924– S establece claramente, en el artículo 18, obligatoria la desinfección del agua superficial que sea suministrada para consumo humano, y el uso del cloro residual como agente desinfectante. Aun así, en el 2016 el AyA contó con 16 acueductos no clorados, los cuales, en su mayoría cuentan con fuentes superficiales de muy bajo caudal, o con tomas deficientes de nacientes, que se captan y se envían directamente a la red de distribución sin tratamiento alguno; debido a que no cuentan con infraestructura de potabilización apropiada para tratar el agua.

La población abastecida con agua de calidad no potable, tanto por acueductos clorados y no clorados, fue de aproximadamente un 1 % (24.560 habitantes), con respecto al total abastecido por acueductos operados por AyA (Figura 4.5). Dentro de este porcentaje, un 80 % recibió agua no potable debido al incumplimiento de los parámetros microbiológicos; un 13 %, al incumplimiento de los físico-químicos, y el restante 7 %, al incumplimiento de ambos (Figura 4.6). Con respecto a la población abastecida con agua de calidad no potable, proveniente solo de los acueductos clorados, los porcentajes se mantiene similares: un 74 % incumplió con los criterios microbiológicos, 17 % incumplió con los criterios físico-químicos, y 9 % incumplió con ambos criterios; mientras que, con los acueductos no clorados, el 100 % se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos (Figura 4.6).

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral. A pesar de que varios

estudios epidemiológicos han demostrado una relación positiva entre la ingesta de aluminio en el agua y la enfermedad de Alzheimer, el riesgo de desarrollar la enfermedad bajo una exposición de aluminio en el agua de consumo en concentraciones superiores a 100 µg/L, pareciera ser bajo. El grado de absorción de aluminio mediante la ingesta de agua permanece incierta, ya que depende de parámetros, como el pH para la especiación y solubilidad del aluminio (OMS, 2011). El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en el reporte 67^a del 2011, estableció la ingesta semanal tolerable provisional (*Provisional Tolerable Weekly Intake*: PTWI) de aluminio en 1 mg/kg. Con base en las especificaciones de las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), donde se le atribuye un 20 % del PTWI al agua para consumo y usan como referencia un adulto de 60 kg que ingiere al día 2 L de agua, se obtiene un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 0,9 mg/L.

El agua de los acueductos CH-A-56-Curubandé de Liberia y PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla se consideró de calidad no potable; ya que se detectaron concentraciones de aluminio en la red de distribución, que sobrepasan el valor de riesgo para la salud (900 µg/L); además de valores de pH inferiores a 5. La UEN de Investigación y Desarrollo del AyA, estableció una planta piloto para la remoción de aluminio mediante una resina de intercambio iónico, además de ajustes en el pH y filtración en el acueducto PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla (J. Merizalde, UEN Investigación y Desarrollo, comunicación personal, septiembre, 19, 2016).

El sulfato de aluminio se utiliza como coagulante-floculante en las plantas potabilizadoras de tratamiento convencional, para disminuir la turbiedad y la carga de microorganismos (OMS, 2011); pero su uso suele aumentar las concentraciones de aluminio en el agua tratada. Un residual de sulfato de aluminio en el agua tratada puede generar rechazo de la misma por parte de los consumidores, debido a la deposición de flóculos en la red de distribución; ya que el coagulante continua interactuando con las partículas en el agua (OMS, 2011). El incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de la mayoría de las plantas potabilizadoras, indica una posible sobredosisificación de sulfato de aluminio. Estas concentraciones no sobrepasaron el el valor de riesgo para la salud, definido por la OMS en el 2011; por lo tanto, el agua clorada de las plantas convencionales se consideró potable.

La zona del Pacífico Norte presenta una elevada demanda de agua de consumo, resultante del desarrollo de la infraestructura turística (para consumo humano, mantenimiento de infraestructura, operación de piscinas y riego de campos de golf) y las necesidades básicas de consumo humano de los diferentes centros poblados, además de la agricultura intensiva y la ganadería. Asimismo, se presume que la cantidad de pozos ilegales supera a la tramitada legalmente (S. Romero, UEN Gestión Ambiental, comunicación personal, abril, 7, 2016), aumentando con ello la inmensa presión que se ejerce sobre el recurso hídrico subterráneo en la región Chorotega. La sobreexplotación de los mantos acuíferos impide la recarga del acuífero, generando que se reduzcan los niveles de la tabla de agua subterránea.

Las altas concentraciones recurrentes de calcio, cloruros, magnesio y dureza total, adicionado a los elevados niveles de conductividad eléctrica en el agua suministrada por el acueducto CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique, indican el ingreso del agua de mar al acuífero, proceso conocido como intrusión salina. Por lo tanto, se consideró de calidad no potable el agua suministrada por el acueducto, debido a todas las afecciones que provoca la ingesta excesiva de sales en la salud de los consumidores.

La presencia de calcio en el agua puede afectar la aceptabilidad por parte de los consumidores, debido a su sabor. El valor del umbral gustativo del ion calcio se encuentra entre (100 y 300) mg/L, dependiendo del anión asociado; no obstante, no es de significado para la salud (OMS, 2013). A pesar de que las concentraciones de calcio sobrepasaron el VMA en el agua de los acueductos CH-A-29-Barbudal de Colorado y CH-A-05-Bolsón-Ortega, éstas no fueron lo suficientemente altas como para considerar la calidad del agua como no potable (concentraciones por debajo de 105 mg/L).

Resulta importante recalcar la situación del acueducto CH-A-05-Bolsón-Ortega, ya que, aunque se consideró de calidad potable, el acueducto presentó elevados niveles de conductividad eléctrica (alrededor de 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$), tanto en el 2015 como 2016. Además de las concentraciones de calcio ligeramente superiores al VMA, el acueducto presentó una dureza total superior al VMA (un promedio de 425 mg/L entre fuentes y red de distribución).

El acueducto PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano, además de incumplir con los criterios microbiológicos, presentó conductividades eléctricas de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 1005 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual

indica que hay concentraciones altas de sales disueltas en el agua. Durante el 2016, no se realizaron análisis de los parámetros de los niveles 2 y 3 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015); por lo que no se cuenta con datos de concentración de metales ni iones en el agua. En el 2015, la Naciente del acueducto PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano presentó concentraciones de calcio superiores al VMA, además, de altos niveles de conductividad eléctrica en el resto de sus fuentes de abastecimiento y en la red de distribución, con un promedio de 726 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos elevados valores, se debieron posiblemente a las altas concentraciones de carbonato de calcio intrínsecas de la zona. En el 2015, el agua del acueducto se consideró de calidad no potable; ya que es rechazada por los consumidores debido su sabor (Orozco & Urbina, 2016). La región de Santa Teresa es uno destino turístico muy popular, por lo que, es visitada por personas de distintas partes del mundo que no están acostumbrados al sabor natural del agua dura.

El manganeso y el hierro son considerados por las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) como parámetros, cuya presencia en el agua de consumo, puede afectar la aceptabilidad de la misma por parte de los consumidores, pero que no representa un riesgo para la salud a las concentraciones normalmente encontradas en el agua de consumo. Las fuentes subterráneas por lo general contienen hierro ferroso (Fe^{+2}), compuesto que expuesto a la atmósfera se oxida a hierro férrico (Fe^{+3}), otorgándole un color rojizo oscuro al agua y un sabor desagradable para los consumidores. A concentraciones mayores de 300 $\mu\text{g}/\text{L}$, el agua puede teñir y dañar tuberías y la ropa cuando se lava. La presencia de manganeso en el agua puede causar acumulación de sedimentos en la red de distribución. Concentraciones superiores a 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ puede causar un sabor desagradable y causar manchas en la ropa y loza de baños y lavatorios.

Los acueductos que suministraron agua con altas concentraciones de hierro y manganeso, fueron considerados de calidad no potable; ya que estas concentraciones afectan la apariencia estética del agua, provocando un rechazo de la misma por parte de los consumidores. Dichos acueductos fueron: BR-A-13-Coto 44, en el cantón de Corredores; BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11, 12 y 10, y BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9; estos acueductos también presentaron niveles altos de color y conductividad.

El acueducto HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo cuenta con una planta de remoción de hierro y manganeso del agua proveniente de los pozos Sand Box. De

acuerdo a los datos recopilados para el 2016, la remoción del hierro fue eficiente, pero no la del manganeso; ya que los puntos de muestreo del agua tratada presentaron concentraciones de manganeso superiores a 500 µg/L. El agua del acueducto se consideró de calidad potable, al no ser nociva para la salud de los consumidores; sin embargo, se recomienda prestar atención, ya que el agua podría ser rechazada por los usuarios debido al cambio en las propiedades organolépticas del agua (color, sabor y olor).

El flúor es un elemento común en la naturaleza y se encuentra ampliamente distribuido a lo largo de la corteza terrestre en la forma de fluoruros en diversos minerales; prácticamente todos los alimentos contienen trazas de fluoruros (OMS, 2011). Los fluoruros son ampliamente utilizados para combatir las caries dentales, especialmente en zonas donde se consume altas cantidades de azúcar. En Costa Rica, se le adicionan fluoruros a la sal de mesa, con el fin de proteger a la población contra las caries dentales; con la excepción de las zonas del país identificadas con flúor natural en el agua (ejemplo la zona de Tierra Blanca de Cartago) (Reforma Norma Oficial para la Sal de Calidad Alimentaria, 2001).

Las Guías para la Calidad del Agua Potable establecen un valor de referencia de riesgo para la salud de 1,5 mg/L de fluoruros en el agua para consumo, que coincide con el VMA. Existe evidencia epidemiológica de que concentraciones superiores a 1,5 mg/L en el agua conllevan un aumento en el riesgo de fluorosis dental, y que concentraciones todavía más altas, incrementan el riesgo de fluorosis esquelética. Sin embargo, la exposición diaria de fluoruros varía en función, no solo de la concentración de fluoruros en el agua para consumo, sino también del volumen ingerido, la edad de la persona, las condiciones climáticas (altura, humedad, clima), hábitos alimentarios (concentraciones en los alimentos consumidos) y el uso de productos dentales fluorurados; por lo que varía considerablemente de una región a otra. Existe un alto riesgo de sufrir efectos adversos en los huesos con una ingesta total diaria de 14 mg de fluoruros; y la evidencia sugiere que puede haber efectos adversos en los huesos con ingestas superiores a 6 mg por día.

El acueducto de CH-A-56-Curubamdé de Liberia presentó solo un punto en la red de distribución con una concentración ligeramente superior al VMA, lo cual despierta una alerta para darle especial seguimiento a las concentraciones de fluoruros en este acueducto. El agua del acueducto fue considerado no potable, debido a las altas concentraciones de aluminio y niveles bajos de pH detectados.

El arsénico es considerado como una de las sustancias químicas de origen natural de mayor riesgo para la salud del consumidor (OMS, 2011). En septiembre del 2014, comenzaron a operar plantas de tratamiento de remoción de arsénico en acueductos rurales que presentaron altos niveles de arsénico en la zona de Bagaces, Cañas y Los Chiles. Actualmente el AyA cuenta con seis plantas de remoción de arsénico. La tecnología de remoción de las plantas consiste en un proceso de adsorción de arsénico sobre un medio filtrante llamado dióxido de titanio (TiO_2), el cual es selectivo para oxianiones como el arseniato (Urbina & Arias, 2017).

En los acueductos donde se detectaron concentraciones de arsénico superiores al VMA de arsénico en la red de distribución fueron: CH-A-47-Quintas Don Miguel de Bagaces, CH-A-30-Bebedero de Cañas, CH-A-43-Bagaces y CH-A-Falconiana de Bagaces. Con excepción de CH-A-43-Bagaces, los acueductos presentaron planta de remoción. En el caso de las plantas, los altos niveles se debieron a que el medio filtrante se saturó y los retrolavados no fueron suficientes, por lo que tuvieron que cambiarlo por uno nuevo (Urbina & Arias, 2017). Sin embargo, los promedios de las redes de distribución fueron inferiores al VMA. Por lo tanto, la calidad del agua fue considerada potable.

Es importante recalcar que la época del año en que se recolecte la muestra, influye directamente en los resultados de los análisis. En temporada lluviosa, normalmente se observa mayor turbiedad y materia orgánica en las fuentes superficiales, debido a la escorrentía, donde el agua de lluvia arrastra consigo partículas de tierra hasta el cuerpo de agua. En la época seca el caudal de los pozos disminuye, debido a la baja tasa de recarga acuífera; como resultado se obtienen mayores concentraciones de los elementos naturales presentes en los acuíferos (hierro, magnesio, manganeso, aluminio, arsénico, entre otros); la cantidad del elemento sigue siendo la misma, pero el volumen de agua es menor.

En términos generales, la cantidad de personas que recibieron agua de calidad potable, provenientes de acueductos operados por AyA, ha venido aumentando; situación que sugiere que la calidad del agua ha venido mejorando durante los últimos cinco años. La población abastecida por acueductos no clorados ha ido mermando y los controles de calidad son cada vez más eficientes, permitiendo que la mejora en la calidad microbiológica. No obstante, los incumplimientos de los criterios físico-químicos han aumentado, debido a que actualmente se cuenta con equipo más especializado, capaz de detectar concentraciones muy

bajas de metales y demás compuestos y substancias tóxicas. Adicionalmente, los acueductos rurales donde se han detectado problemas con contaminantes químicos, en la mayoría de los casos, se ha transferido la administración y operación del acueducto a manos de AyA.

5. CONCLUSIONES GENERALES

- En el 2016, un 99 % de la población abastecida por acueductos operados por AyA (2.282.639 habitantes), recibió agua de calidad potable; esto equivale al 46,7 % de la población del país.
- En el 2016, el porcentaje de población abastecida con agua de calidad potable proveniente de acueductos operados por AyA, aumentó 0,2 % con respecto al 2015; el porcentaje de potabilidad del agua se ha venido incrementando en los últimos cinco años.
- La provincia con mayor número de personas abastecidas por acueductos operados por AyA, para el 2016, fue San José con 1.311.266 habitantes; mientras que Cartago y Heredia fueron las provincias donde menor cantidad de habitantes se abastecieron mediante acueductos operados por AyA, siendo 25.164 habitantes y 31.020 habitantes respectivamente.
- Los acueductos operados por AyA en Heredia y Cartago abastecieron con agua potable al 100 % de su población; Puntarenas fue la provincia que presentó la menor cobertura de agua potable, con un 96,8 %.
- El acueducto HA-A-11.2-Las Delicias de Pocora fue el único acueducto no clorado que suministró agua de calidad potable, de un total de 16 acueductos.
- Los acueductos no clorados CO-A-27-Purires Arriba y CO-A-28-Purires Abajo no fueron evaluados, y los 13 acueductos no clorados suministraron agua de calidad no potable.
- Del total de la población abastecida con agua de calidad no potable, proveniente de acueductos operados por AyA, un 80 % recibió agua que incumplió con los criterios microbiológicos; un 13 %, con los físico-químicos, y el restante 7 %, con ambos criterios.

- Aproximadamente un 1 % de la población abastecida por acueductos clorados, recibieron agua de calidad no potable; mientras que, para los acueductos no clorados, fue prácticamente un 100 %.
- El número de acueductos no clorados operados por AyA decreció con respecto al 2007, al igual que su cobertura.
- La proporción de acueductos no potables sobre acueductos no clorados, se incrementó en los últimos diez años, pasando de ser aproximadamente el 50 % en 2007, a más del 80 % en 2016.
- La calidad no potable del agua suministrada por los acueductos clorados, se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos y físico-químicos; mientras que, para los acueductos no clorados, se debió exclusivamente a los microbiológicos.
- De los 188 acueductos clorados, 11 suministraron agua de calidad no potable por incumplimiento de los criterios microbiológicos:
 - ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú
 - ME-A-29-San Antonio de Escazú: Sector Naciente Lajas
 - ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla
 - ME-A-03.1-EI Llano: Sector Planta de Tramiento
 - CH-A-45-Montenegro y Agua Caliente de Bagaces
 - CH-A-22.2-Buenos Aires
 - BR-A-12.1-Ciudad Neily (Abrojo)
 - PC-A-07-Juan de Dios Vásquez de Palmares
 - PC-A-19-Carmen Lyra-La Guaria-Mojoncito
 - PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano
 - PC-A-20-EI Llano de San Miguel de Barranca
- La presencia del cloro residual en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales, ni la ausencia de cloro supone la presencia de los microorganismos.
- La acción desinfectante del cloro desempeñó un papel importante en la calidad del agua, dado que la mayoría de los acueductos clorados cumplieron con los criterios

microbiológicos; mientras que, la gran mayoría de los no clorados, incumplieron.

- La falta de un tratamiento de desinfección del agua proveniente de las fuentes de abastecimiento (principalmente en aguas superficiales) y la ausencia de cloro residual libre en el agua de la red de distribución, representan un factor de alto riesgo de contaminación microbiana.
- El agua de los acueductos CH-A-56-Curubandé de Liberia y PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla se consideró de calidad no potable; ya que se detectaron concentraciones de aluminio en la red de distribución, que sobrepasan el valor de riesgo para la salud (900 µg/L), además de valores de pH inferiores a 5.
- El incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de la mayoría de las plantas potabilizadoras, indica una posible sobredosificación de sulfato de aluminio; no obstante, el agua se consideró de calidad potable, ya que los valores no sobrepasaron el valor de riesgo para la salud (900 µg/L).
- El acueducto CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique, suministró agua de calidad no potable; ya que se detectaron altas concentraciones recurrentes de calcio, cloruros, magnesio y dureza total, adicionado a los elevados niveles de conductividad eléctrica, lo cual indica que hubo intrusión salina.
- El acueducto CH-A-05-Bolsón-Ortega presentó altos niveles de calcio, dureza total y conductividad eléctrica en el agua, pero su calidad fue considerada potable, ya que no representa un riesgo para la salud de los consumidores.
- Los acueductos BR-A-13-Coto 44, BR-A-09.1-Palmar Sur Fincas 3, 2-4, 6-11, 12 y 10, y BR-A-09.2-Palmar Sur Fincas 5, 7, 8 y 9, suministraron agua con altos valores de color, conductividad eléctrica, hierro y manganeso; por lo que, el agua de éstos fue considerada de calidad no potable.
- La remoción de manganeso no fue eficiente en la planta potabilizadora del acueducto HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto; ya que los puntos de muestreo del agua tratada presentaron concentraciones de manganeso superiores a 500 µg/L.

- Los promedios de las concentraciones de arsénico en la red de distribución de los acueductos donde se detectaron concentraciones de arsénico, fueron inferiores al VMA; por lo tanto, la calidad del agua fue considerada potable.
- El acueducto PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano, además de incumplir con los criterios microbiológicos, presentó conductividades eléctricas de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 1005 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual indica que hay concentraciones altas de sales disueltas en el agua.

6. RECOMENDACIONES GENERALES

- Verificar los procesos de cloración en los acueductos clorados, donde se detectó presencia de indicadores fecales: adecuada dosificación de cloro y suficiente tiempo de contacto con el agua, continuidad en el proceso de desinfección, limpieza de tuberías y tanques.
- Mantener el residual de cloro de acuerdo a la demanda establecida en los acueductos en los que se aplica cloración continua. En las partes más distales de la red de distribución, de los sistemas citados se debe mantener un residual mínimo de 0,3 mg/L y un máximo igual e inferior a 0,6 mg/L, después de ejercida la demanda de cloro.
- Evaluar la factibilidad de aplicar un tratamiento convencional al agua de fuentes superficiales no cloradas, de los cantones de Alajuelita y Escazú. Mientras tanto, implementar un programa de desinfecciones periódicas en los acueductos no clorados, donde se haya detectado la presencia de indicadores de contaminación microbiológica, siempre y cuando los niveles de turbiedad no excedan el valor máximo admisible (>5 UNT).
- Implementar un sistema de cloración continua en la Naciente Numancia 1 del acueducto Barrio Los Ángeles (sector no clorado); ésta fuente es clorada más adelante para abastecer a otro acueducto. Hasta tanto no se aplique la medida citada, efectuar desinfecciones periódicas en el acueducto.
- Abastecer a los usuarios de la RC, que recibieron agua sin desinfección, con agua clorada proveniente de otros sistemas de abastecimiento.
- Aplicar el Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química de AyA para los acueductos que presentan problemas por incumplimientos de parámetros físico-químicos, específicamente de los metales hierro, manganeso, aluminio y calcio.
- Adoptar las medidas que surjan a partir del proyecto de la planta piloto para remoción de aluminio, que lleva a cabo la UEN de Investigación y Desarrollo del AyA, en el

acueducto PC-A-21-Zagal-Villa Bruselas-Cebadilla.

- Optimizar la oxidación del manganeso en el proceso de remoción de la planta de tratamiento de los Pozos Sand Box, que abastece al acueducto HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo.
- Mantener un monitoreo constante de los pozos, que actualmente abastecen al acueducto CH-A-38-Papagayo Sur: Hermosa-Cacique y de zonas costeras aledañas, para detectar posibles indicios de intrusión salina.
- Realizar los análisis correspondiente de los parámetros de los niveles 2 y 3 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015), con la debida frecuencia, en el acueducto PC-A-24-Santa Teresa de Cóbano.
- Prestar atención a los niveles de fluoruros detectados en el agua del acueducto de CH-A-56-Curubandé de Liberia.
- Controlar de manera adecuada la dosificación de sulfato de aluminio y el valor del pH durante el proceso de coagulación-floculación en las plantas potabilizadoras convencionales, para evitar el incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de la red de distribución y el gasto innecesario del floculante.
- Realizar los retro lavados de los filtros de las plantas de remoción de arsénico con la frecuencia requerida, para evitar su saturación precoz.
- Implementar medidas de protección en las zonas aledañas a las fuentes de abastecimiento superficial, al con el propósito de evitar la contaminación del agua; lo que conlleva a una mejora en la calidad del agua y disminución en los costos de operación, a la hora de potabilizar el agua.
- Verificar que los muestreos de cada acueducto se realicen a lo largo del año, incluyendo temporada lluviosa y seca, para que éstos sean representativos.

7. REFERENCIAS

- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22° ed.). Washington, EEUU: American Public Health Association.
- Decreto Ejecutivo N° 32327-S. (3 de mayo de 2005). Reglamento para la Calidad del Agua Potable. La Uruca, San José, Costa Rica: Diario Oficial La Gaceta N°84.
- Decreto Ejecutivo N° 38924-S. (1° de septiembre de 2015). Reglamento para la Calidad del Agua Potable. La Uruca, San José, Costa Rica: Diario Oficial La Gaceta.
- EPA. (2017). Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals. *United States Environmental Protection Agency*. Recuperado el 5 de abril de 2017, de <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/secondary-drinking-water-standards-guidance-nuisance-chemicals>
- Hussein, M., Brown, J., Njee, R., Clasen, T., Malebo, H., & Mbuligwe, S. (2015). Point-of-use chlorination of turbid water: results from a field study in Tanzania. *J Water Health*, 13(2), 544-552.
- Instituto Nacional de Estadística (INEC). (Julio de 2015). *Encuesta Nacional de Hogares (ENAH0)*. Recuperado el Abril de 2016, de <http://www.inec.go.cr/enaho/result/vivienda.aspx>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (Julio de 2015). *Encuesta Nacional de Hogares (ENAH0)*. Recuperado el 1 de Abril de 2016, de <http://www.inec.go.cr/enaho/result/vivienda.aspx>
- Laboratorio Nacional de Aguas. (2015). Programa de Control de Calidad del Agua.
- Ley N°276. (27 de Agosto de 1942). Ley de Aguas. La Uruca, San José, Costa Rica: Diario Oficial La Gaceta.
- Ley N°276. Ley de Aguas. (27 de Agosto de 1942). *Diario Oficial La Gaceta*.
- Mora Alvarado, D., Portuguez Barquero, F., Fonseca Calderón, Ó., Quirós, J., Pacheco Secades, V., Valiente Álvarez, C., . . . Chávez Aguilar, A. (2013). *Laboratorio Nacional de Aguas 50 Aniversario*. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Mora, D., & Mata, A. (2007). Conceptos básicos de aguas para consumo humano y disposición de aguas residuales. Tres Ríos: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Laboratorio Nacional de Aguas.
- Mora, D., Mata, A., & Sequeira, M. (2012). *Actualización de los criterios de calidad de aguas*

- de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica 2012*. Tres Ríos, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Laboratorio Nacional de Aguas.
- OMS. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza: Cuarta ed.
- OMS. (2013). *Guías para la calidad del agua potable*. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza: Tercera ed.
- Orozco, J., & Solís, Y. (2016). *Inventario de la calidad de fuentes de abastecimiento operadas por el AyA para el año 2015*. Tres Ríos: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Laboratorio Nacional de Aguas.
- Orozco, J., & Urbina, A. (2016). Informe Anual 2015. Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano en los Acueductos Operados por AyA. Tres Ríos, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas.
- Reforma Norma Oficial para la Sal de Calidad Alimentaria. (3 de Diciembre de 2001). N° 30032. San José, Costa Rica.
- Romero, S. (7 de Abril de 2016). (S. Romero, UEN Gestión Ambiental, comunicación personal, abril, 7, 2016).
- Urbina, A., & Arias, B. (2016). *Informe sobre la eficiencia de las plantas de remoción de arsénico y otras fuentes contaminadas por arsénico*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Laboratorio Nacional de Aguas.
- Urbina, A., & Arias, B. (2017). Informe sobre la eficiencia de las plantas de remoción de arsénico en Cañas, Bagaces y Los Chiles. Periodo 2014-2016. Tres Ríos, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Vargas M., O. (4 de noviembre de 2010). 20 muertos y 10 desaparecidos en Escazú por alud. *La Nación*. Recuperado el 28 de julio de 2016, de http://www.nacion.com/archivo/muertos-desaparecidos-Escazu-alud_0_1157084377.html