INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

INFORME ANUAL 2017
COBERTURA Y CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN ACUEDUCTOS OPERADOS POR AYA

Elaborado por:

M.Sc. Jimena Orozco Gutiérrez

Revisado por:

Lic. Azucena Urbina Campos
Dr. Pablo Rivera Navarro
Ing. Yuliana Solís Castro
Ing. Andrei Badilla Aguilar

Aprobado por:

Dr. Darner Mora Alvarado

Marzo 2018

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 4
2. OBJETIVO GENERAL 9
2.1. Objetivos específicos 9
3. METODOLOGÍA 10
3.1. Muestreo 10
3.2. Métodos de análisis 12
3.3. Interpretación de los resultados 12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR REGIÓN 16
4.1. Región Área Metropolitana 16
4.1.1. Discusión 16
4.1.2. Conclusiones 19
4.1.3. Recomendaciones 20
4.2. Región Huetar Atlántica 21
4.2.1. Discusión 21
4.2.2. Conclusiones 24
4.2.3. Recomendaciones 25
4.3. Región Chorotega 26
4.3.1. Discusión 26
4.3.2. Conclusiones 29
4.3.3. Recomendaciones 30
4.4. Región Central 31
4.4.1. Discusión 31
4.4.2. Conclusiones 33
4.4.3. Recomendaciones 34
4.5. Región Brunca 35
4.5.1. Discusión 35
4.5.2. Conclusiones 37
4.5.3. Recomendaciones 38
4.6. Región Pacífico Central 39
4.6.1. Discusión 39
4.6.2. Conclusiones 42
4.6.3. Recomendaciones 44
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERALES 45
6. CONCLUSIONES GENERALES 61
7. RECOMENDACIONES GENERALES 65
8. REFERENCIAS 67
9. APÉNDICES 69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Fuentes de abastecimiento de los acueductos operados por cada región del AyA durante el 2017. 6

Cuadro 1.2. Población abastecida y número de sistemas para cada región del AyA durante el 2017....7

Cuadro 3.1.1. Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras microbiológicas de red a recolectar según población abastecida para el programa de control de calidad.....11

Cuadro 3.1.2. 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 para el programa de control de calidad. 12

Cuadro 5.1. Número de sistemas de los acueductos operados por las regiones del AyA según calidad del agua de consumo en el 2017....46

Cuadro 5.2. Población abastecida por acueductos operados por AyA durante el 2017. .47

Cuadro 5.3. Calidad del agua en acueductos administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2017. 48

Cuadro 5.4. Calidad del agua en acueductos clorados administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2017. 48

Cuadro 5.5. Calidad del agua en acueductos *no* clorados administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2017. 48

Cuadro 5.6. Número de acueductos operados por AyA por provincia según calidad del agua de consumo en el 2017. 52

Cuadro 5.7. Calidad del agua en acueductos operados por AyA según población abastecida por provincia en el 2017. 52

Cuadro 9.1. Calidad de los subsistemas del Acueducto Metropolitano de la RAM durante el 2017....69

Cuadro 9.2. Calidad de los acueductos periféricos de la RAM durante el 2017. 70

Cuadro 9.3. Calidad de los acueductos de la RHA durante el 2017. 71

Cuadro 9.4. Calidad de los acueductos de la RCH durante el 2017. 72

Cuadro 9.5. Calidad de los acueductos de la RC durante el 2017. 74

Cuadro 9.6. Calidad de los acueductos de la RB durante el 2017. 76

Cuadro 9.7. Calidad de los acueductos de la RPC durante el 2017. 77

Cuadro 10.1. Criterios microbiológicos para la evaluación de la calidad del agua para consumo según población abastecida....79

Cuadro 10.2. Parámetros de evaluación de la calidad del agua para consumo en Costa Rica. 79

Cuadro 10.3. Niveles de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 81

Cuadro 10.4. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano: puntaje de cada variable. 82

Cuadro 10.5. Clasificación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos según su efecto en la calidad del agua. 84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en cada región del AyA en los últimos cinco años. 50

Figura 5.2. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en acueductos del AyA en los últimos cinco años. 51

Figura 5.3. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable y no potable de acueductos operados por AyA en el 2017*. 54

Figura 5.4. Porcentajes de población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua en el 2017. 56

Figura 5.5. Número de acueductos no clorados operados por AyA en los últimos once años. 58

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde 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 2017. 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 LNA es el centro de referencia para análisis de agua (Decreto Ejecutivo N°26066-S, 1997); éste 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 2016.

Se define como agua apta para la ingesta o potable aquella que no causa ningún daño en la salud al ser ingerida por la población, y que sus características organolépticas no generan rechazo por parte de los consumidores. El AyA, como ente operador, es el responsable jurídico velar por la calidad potable del agua que produce y suministra a los abonados 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.

El control de calidad del agua para consumo humano se lleva a cabo mediante una combinación de medidas, como son: la protección de las fuentes de agua, el control de las operaciones de tratamiento y de gestión de la distribución. Este control de la calidad 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 para consumo humano, como la evaluación continua y sistemática de todas las partes del acueducto, a fin de cumplir las normas de calidad. Se entiende por 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.

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 2017, el Programa de Control de Calidad del Agua del LNA reportó 569 fuentes de abastecimiento operadas por AyA a lo largo del territorio nacional; 321 subterráneas (56,4 %), 191 subsuperficiales (33,6 %), y 57 superficiales (10,0 %), de las cuales aproximadamente dos tercios cuentan con tratamiento de potabilización convencional. En el Cuadro 1.1 se detalla la cantidad de fuentes de abastecimiento por región.

Cuadro 1.1. Fuentes de abastecimiento de los acueductos operados por cada región del AyA durante el 2017.

Región	Fuentes de Abastecimiento			
	Total	Subterráneas	Subsuperficiales	Superficiales
Área Metropolitana	109	49	33	27
Brunca	68	18	40	10
Central	78	23	48	7
Chorotega	140	122	15	3
Huetar Atlántica	32	15	15	2
Pacífico Central	142	94	40	8
Totales	**569**	**321**	**191**	**57**

Fuente: Área de Agua Potable del LNA.

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. 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 reducir los niveles de 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 microrganismos entre la materia orgánica (Hussein, y otros, 2015). Según el estudio realizado en fuentes de abastecimiento de AyA durante el 2015, a la hora de determinar la calidad de las fuentes de abastecimiento superficiales, los parámetros microbiológicos presentan un papel más relevante que los físico-químicos, y viceversa para las fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales (Orozco & Solís, 2016).

En consecuencia, la ingesta de agua superficial sin el tratamiento adecuado, implica un alto riesgo para la salud. El Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S), en el artículo 18, establece que toda agua superficial para consumo humano, debe recibir el tratamiento previo que la haga cumplir con los Valores Máximos Admisibles (VMA) y se debe garantizar la eficiencia de la desinfección.

El cloro es adicionado durante el proceso de desinfección, donde reacciona y forma los agentes desinfectantes ácido hipocloroso y el ion hipoclorito. La función principal del cloro es reducir la carga microbiana y prevenir posibles cuadros clínicos asociados a la presencia de patógenos; gracias a su efecto residual que disminuye el riesgo de

contaminación microbiana. El reglamento 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 re-contaminación microbiana entre el punto de cloración y el punto de consumo (OMS, 2013).

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 2017 fue de 2 335 953 personas; lo cual corresponde al 47,2 % de la población total del país con acceso a agua intradomiciliar (INEC, 2017). Se registraron 204 acueductos operados por el AyA, de los cuales 189 eran clorados (suministraron agua al 99,8 % de la población abastecida por el AyA) y 15 no clorados (suministraron agua al restante 0,2 % de la población abastecida por el AyA).

Cuadro 1.2. Población abastecida y número de sistemas para cada región del AyA durante el 2017.

Región	Población abastecida						Número de sistemas		
	Cl(1)	%	No Cl(2)	%	Total	%	Cl(1)	No Cl(2)	Total
Área Metropolitana	1299328	99,7	3290	0,3	1302617	55,8	25	8	33
Brunca	187596	100	0	0,0	187596	8,0	28	0	28
Central	150242	99,9	92	0,1	150334	6,4	33	5	38
Chorotega	211636	100	0	0,0	211636	9,1	55	0	55
Huetar Atlántica	236871	99,3	1728	0,7	238599	10,2	14	2	16
Pacífico Central	245170	100,0	0	0,0	245170	10,5	34	0	34
Totales	2330843	99,8	5110	0,2	2335953	100	189	15	204

(1) Cl: Acueductos clorados; (2) No Cl: Acueductos no clorados.

Fuente: Área de Agua Potable del LNA.

Los acueductos pertenecientes al AyA están distribuidos en seis regiones operacionales: Área Metropolitana (RAM), Huetar Atlántica (RHA), Chorotega (RCH), Central (RC), Brunca (RB) y Pacífico Central (RPC). La RAM presentó una cobertura del 55,8 % de la población abastecida por AyA, seguida de la RPC con 10,5 %, la RHA con 10,2 %, la RCH con 9,1 %, la RB con 8,0 % y, por último, la RC con 6,4 %. La población que abastece cada región, así como el respectivo número de acueductos clorados y no clorados, se detallan en el Cuadro 1.2.

El presente informe anual del 2017 busca vigilar la calidad del servicio de abastecimiento brindado por el AyA, con el fin de prevenir los riesgos de enfermedades asociadas al agua para consumo. El propósito del documento es que sea utilizado como 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. Asimismo, el informe procura retroalimentar los programas de planificación y ejecución de la recolección de muestras de agua para consumo.

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua de consumo en los acueductos operados por AyA durante el 2017, de acuerdo con los parámetros establecidos en el Reglamento de Calidad para el Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S), y con el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH).

2.1. 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 2017.

- Evaluar el riesgo asociado a la calidad del agua de los distintos acueductos, utilizando el IRCACH.

- Localizar las zonas susceptibles a la contaminación, que representan un riesgo Intermedio (Amarillo), Alto (Naranja) o Muy Alto (Rojo) para la salud de los usuarios.

- Identificar las deficiencias sanitarias que pueden alterar la calidad del agua en los acueductos.

3. METODOLOGÍA

La evaluación de la calidad del agua de los acueductos se realizó con base en la información recolectada por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), mediante el Programa de Control de Calidad del Agua. Las especificaciones del muestreo (mínimo número de muestras a recolectar y su frecuencia) y los criterios de calidad se basaron en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924 –S) y en el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH) (Laboratorio Nacional de Aguas, 2017) aprobado por el Consejo de Gerencia el 5 de junio del 2017.

El informe consta de dos apartados: 1) el análisis de la cobertura y calidad del agua suministrada en cada una de las regiones operacionales, y 2) el análisis general a nivel del AyA, donde se hace una comparación entre regiones, al igual que entre provincias y años anteriores.

3.1. Muestreo

Los alcances para el Muestreo y Manipulación de las Muestras, se establecen en del Manual de Calidad del LNA, con referencia a los procedimientos y formularios utilizados. Las muestras son recolectadas siguiendo los procedimientos de Muestreo Simple, y de Custodia, Recepción, Inspección, Codificación y Desecho de Muestras, con el propósito de garantizar que sean representativas de las condiciones geológicas y sanitarias del agua suministrada por los acueductos.

Para efectos del control de calidad, el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015) establece un mínimo de muestras que se deben recolectar al año y una frecuencia mínima de muestreo para cada acueducto, en función de la población abastecida, para los análisis microbiológicos del nivel N1 y los físico-químicos de los niveles N1, N2 y N3. En el muestreo microbiológico del nivel N1 se incluyen todos los componentes del sistema de abastecimiento; se recolectan muestras en 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 se realiza tomando en cuenta solo los muestreos efectuados en la red de distribución.

En el Cuadro 3.1.1 se detallan las frecuencias de muestreo y el número mínimo de muestras a recolectar de la red de distribución para los análisis microbiológicos, según

ámbitos de población abastecida. Se hace la excepción con los acueductos que poseen una planta potabilizadora convencional, ya que su frecuencia de muestreo es mensual, indiferentemente de la población abastecida. Los acueductos creados antes del 2015, que presentaron poblaciones inferiores a 5 000 habitantes, no poseen una frecuencia de muestreo semestral, sino trimestral como se establecía en el reglamento anterior (Decreto Ejecutivo N° 32327-S, 2005). Adicionalmente, en el reglamento se 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 1 189 263 habitantes.

Cuadro 3.1.1. Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras microbiológicas de red a recolectar según población abastecida para el programa de control de calidad.

Población abastecida (habitantes)	Red de distribución		Total de muestras mínimas por año de la red de distribución
	Frecuencia	N° 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	3 780
500 001 a 600 000	Diaria	15	3 792
600 001 a 700 000	Diaria	15	3 804
700 001 a 800 000	Diaria	15	3 816
800 001 a 900 000	Diaria	15	3 828
900 001 a 1 100 000	Diaria	15	3 840
1 000 001 a 1 100 000	Diaria	15	3 852
1 100 001 a 1 200 000	Diaria	15	3 864
1 200 001 a 1 300 000	Diaria	15	3 876
1 300 001 a 1 400 000	Diaria	15	3 888
1 400 001 a 1 500 000	Diaria	15	3 900

En frecuencias mensuales mayores a 100 000 habitantes, se adicionan 12 muestras más al año por cada 100 000 habitantes. Se cuentas 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 3.1.2 se detallan las frecuencias de muestreo y el mínimo de muestras a recolectar para los análisis físico-químicos del nivel N2 y N3, de acuerdo a los ámbitos de población abastecida; mientras que las frecuencias de muestreo de los análisis físico-químicos del nivel N1 corresponden a la mismas que los análisis microbiológicos, pero solo se toma una muestra de la red de distribución por cada muestreo.

Cuadro 3.1.2. 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 para el programa de control de calidad.

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.

3.2. Métodos de análisis

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 Acreditado del LNA, de conformidad con los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.

3.3. Interpretación de los resultados

La determinación de la calidad del agua de los acueductos se realizó tomando en cuenta los muestreos efectuados en la red de distribución; es decir, se evaluó el agua como producto final suministrado a las viviendas y demás instalaciones. Los parámetros de evaluación poseen un Valor Máximo Admisible (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 un riesgo significativo para la salud. Los criterios para las evaluaciones microbiológicas y físico-químicas de los sistemas de abastecimiento, definidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015) y en el IRCACH , son la base para determinar si el agua suministrada es potable o no.

En el análisis microbiológico 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, cuarta edición (OMS, 2011), específicamente en la sección *5.5.2 Regional use of data* (Uso de los datos en el ámbito regional) (ver Cuadro 10.1), 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 fueran recolectadas al año. Por tanto, el LNA interpreta los criterios microbiológicos de la calidad del agua de la siguiente forma:

- El agua potable cumple los criterios de la calidad microbiológica en aquellos acueductos clorados, cuya población abastecida es inferior a 5 000 habitantes, si la negatividad es igual o superior al 90 % para coliformes fecales; y en los 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 cumple con los criterios microbiológicos cuando, en al menos el 80 % de las muestras recolectadas durante el año, no se detecte la presencia de *E. coli*.

Los análisis de los parámetros físico-químicos son de índole cuantitativo, ya que los criterios se basan en valores máximos de concentraciones permisibles en el agua. Los resultados puntuales se pueden observar en los Apéndices del presente documento, dispuestos en cuadros que indican fecha de muestreo, nombre del sistema (fuente o sector de la red), cantón y punto de recolección de las muestras. Los VMA establecidos por el Decreto Ejecutivo No. 38924-S se detallan en el Cuadro 10.2.

Los porcentajes de potabilidad o cobertura 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 a 30 000 personas presenta un mayor impacto en la cobertura, que uno que suministre agua a 500 personas. La estimación de la población que abastece cada acueducto se obtuvo multiplicando el número de servicios domiciliarios (activos e inactivos) por el promedio de habitantes por vivienda a nivel nacional, obtenido en la Encuesta Nacional de Hogares; en el 2017, el este promedio fue de 3,3 (INEC, 2017). La cantidad de servicios domiciliarios por acueducto, fue reportada por los departamentos de Operación y Distribución del AyA.

Para efectos del presente informe, se define que el agua de un acueducto es potable cuando no causa ningún daño en la salud al ser ingerida, y que sus características organolépticas no generan rechazo por parte de los consumidores. Esta definición permite que el agua, que presente valores superiores al VMA de parámetros no nocivos y que cuyas concentraciones no afecten la estética del agua, pueda ser considerada de calidad potable. Por esta razón, los parámetros del reglamento vigente fueron clasificados según su efecto sobre la calidad del agua: de significado para la salud, estético, operativo o indicadores de contaminación. En el Cuadro 10.5 se detalla la clasificación de los parámetros.

El agua suministrada por un acueducto se consideró de calidad no potable, cuando el riesgo asociado a la calidad del agua fue Intermedio (Amarillo), Alto (Naranja) o Muy Alto (Rojo); en otras palabras, el acueducto se consideró potable, si el riego asociado a la calidad del agua fue Muy Bajo (Azul) o Bajo (Verde). La metodología para determinar el nivel de riesgo se detalla en los lineamientos del IRCAH; la cual establece que, para las evaluaciones anuales, donde se cuenta con más de un reporte puntual, se analizan los promedios aritméticos de los parámetros físico-químicos de los niveles 1, 2 y 3, en la red de distribución. Cabe resaltar que el criterio de expertos fue tomado en cuenta para determinar la potabilidad del agua de un acueducto. Se define criterio de experto como el

juicio de profesionales que trabajen con análisis físico-químicos, microbiológicos y biológicos del agua para consumo humano, que se basa en experiencia, datos históricos y conocimiento científico. Los niveles de riesgo se describen en el Cuadro 10.3, y la clasificación de los parámetros en los distintos tipos, junto con su justificación se detallan en los Cuadros 10.4 y 10.5.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR REGIÓN

4.1. Región Área Metropolitana

4.1.1. Discusión

En el 2017, la Región Área Metropolitana (RAM) le suministró agua al 55,8 % (1 302 617 habitantes) del total de la población abastecida por AyA (Cuadro 5.2), mediante 25 acueductos clorados y ocho no clorados. De estos 33 acueductos totales, 24 suministraron agua potable a 1 299 576 habitantes, lo que corresponde al 99,8 % de la población de la RAM, y ocho acueductos suministraron agua no potable a 2 941 habitantes, que corresponde al 0,2 % (Cuadro 5.1 y 5.3). Solo un acueducto no fue evaluado, el ME-A-25.8-San Antonio de Escazú sector Los Roques, que abastece una población de 101 habitantes, que corresponde a menos de 0,01 %.

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 y los acueductos periféricos. En los Cuadros 9.1 y 9.2 de los Apéndices se detalla la calidad del agua suministrada por dichos acueductos.

El Acueducto Metropolitano, compuesto por 18 subsistemas clorados, suministró agua de calidad potable a la totalidad de su población (1 189 263 habitante). De acuerdo con el IRCACH, todos los subsistemas presentaron riesgo Muy Bajo (Azul), con la excepción de tres que presentaron riesgo Bajo (Verde), debido a que se reportó cloro residual libre por debajo de 0,3 mg/L en una gran parte de las muestras recolectadas o aluminio en el ámbito de (400 a 900) µg/L. No obstante, el Acueducto Metropolitano, evaluado como uno solo, se clasificó como de riesgo Muy Bajo (Azul).

En cuanto a los acueductos periféricos, para el 2017 se registraron 32 acueductos que brindaron agua para consumo a 112 685 personas. De éstas, el 97,1 % recibió agua potable, con distintos niveles de riesgo asociado a su calidad.

En la evaluación general de la RAM, incluyendo Acueducto Metropolitano y acueductos periféricos, el 94,0 % de la población abastecida recibió agua de riesgo Muy

Bajo (Azul); 5,7 % de riesgo Bajo (Verde); 0 % de riesgo Intermedio (Amarillo), 0,2 % de riesgo Alto (Naranja), y menos de 0,01 % de riesgo Muy Alto (Rojo). En la Figura 5.4 se observa el porcentaje de la población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua.

Con respecto a las fuentes de abastecimiento, la RAM fue la región con la mayor cantidad de fuentes superficiales. Un 25 % de las fuentes de abastecimiento de la RAM fueron superficiales, un 30 % subsuperficiales y un 45 % subterráneas (Cuadro 1.2).

La calidad no potable del agua de la RAM se debió únicamente al incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica. Aproximadamente, dos tercios de los ocho acueductos que presentaron calidad de agua no potable, fueron clorados. En los acueductos clorados que suministraron agua no potable, se detectó presencia de coliformes fecales, por lo que se consideraron de riesgo Alto (Naranja); en uno de estos acueductos clorados se detectó una ineficiente cloración, por lo que su riesgo aumentó a Muy Alto (Rojo). Por otro lado, el riesgo Bajo (Verde) en su mayoría se debió a concentraciones nulas o insuficientes de cloro residual libre en las muestras recolectadas (ver Apéndices Generales). En el Cuadro 9.2 de los Apéndices se enumeran los acueductos de calidad no potable para la RAM.

Los dos acueductos ubicados en Matinilla de Santa Ana, y el acueducto ubicado en Cuesta Calderones de San Antonio de Escazú, fueron los tres acueductos clorados que presentaron contaminación por coliformes fecales. Desde el 2015, la calidad se ha mantenido no potable en estos acueductos (excepto el ME-A-24.2-El Berral de Matinilla que fue potable para el 2016). Éstas zonas se consideran, por tanto, vulnerables a la contaminación microbiológica.

Los resultados evidencian la importancia de la correcta aplicación del cloro en el agua. La acción desinfectante del cloro reduce la carga microbiana y previene posibles cuadros clínicos asociados a la presencia de patógenos, gracias a su efecto residual que disminuye el riesgo de contaminación microbiana.

Los acueductos no clorados se ubican en los cantones de Escazú y Alajuelita, puntualmente en los barrios Calle El Alto y Calle Higuerones en San Antonio de Escazú, y Lámparas de San Antonio de Alajuelita. 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. Estos acueductos no clorados abastecieron a una población reducida (3 290 habitantes), que equivale al 0,3 % de la población total de la RAM. No obstante, la calidad no potable de los acueductos no clorados ha persistido a lo largo de los últimos años. Solventar esta situación debe ser prioridad en la agenda 2018 de la RAM.

La presencia de coliformes fecales en agua clorada, indica un deficiente tratamiento de desinfección; ya sea por a una dosificación de cloro inadecuada, tiempo insuficiente de contacto entre el agua y el cloro, discontinuidad del proceso de cloración, falta de limpieza de la tubería, conexiones cruzadas y falta de continuidad del servicio. Se debe considerar que las zonas de bajo consumo, donde el agua permanece por bastante tiempo en la tubería, son más propensas a contaminarse.

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. El grado de absorción de aluminio mediante la ingesta de agua permanece incierta, ya que depende de parámetros, como el pH para su especiación y solubilidad (OMS, 2011). El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en el reporte 67ª 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. Sin embargo, la planta de Guadalupe presentó, de forma recurrente, concentraciones de aluminio en el agua que podrían generar rechazo de la misma, pero

que no representan un riesgo directo para la salud; por lo que el riesgo asociado a la calidad del agua fue Bajo (Verde).

El porcentaje de potabilidad del agua se ha venido incrementando en los últimos cinco años. En el 2017, el porcentaje de población de la RAM abastecida con agua de calidad potable aumentó 0,5 % con respecto al del 2016 (Figura 5.1).

4.1.2. Conclusiones

- En el 2017, la RAM suministró, mediante 24 acueductos, agua de calidad potable a 1 302 617 habitantes, lo que equivale al 99,8 % de la población de la región.

- 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, aproximadamente dos tercios de los acueductos no clorados fueron de calidad no potable.

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

- Las zonas vulnerables a la contaminación microbiológica fueron Matinilla de Santa Ana, Lámparas de San Antonio de Alajuelita, y los barrios Cuestas Calderones, Calle El Alto y Calle Higuerones en San Antonio de Escazú.

- Los acueductos no clorados se ubicaron en las zonas vulnerables en Alajuelita y Escazú.

- La falta de un tratamiento de potabilización y la ausencia de cloro residual libre en el agua proveniente de las fuentes de abastecimiento superficiales, que abastecen los cantones de Alajuelita y Escazú, representan un factor de alto riesgo por contaminación microbiana.

- En la RAM, los porcentajes de población abastecida según el riesgo asociado a la calidad del agua fueron: 94,0 % Muy Bajo (Azul); 5,7 % Bajo (Verde); 0 % Intermedio (Amarillo), 0,2 % Alto (Naranja), y menos de 0,01 % Muy Alto (Rojo).

- La totalidad del agua suministrada por el Acueducto Metropolitano se consideró de calidad potable, y su riesgo asociado a la calidad del agua fue Muy Bajo (Azul).

- El riesgo Bajo (Verde) se debió, principalmente, a concentraciones nulas o insuficientes de cloro residual libre en las muestras recolectadas.

- El incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de las plantas potabilizadoras, indica una posible sobredosificación de sulfato de aluminio, especialmente en la planta de Guadalupe, donde el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Bajo (Verde).

- En el 2017, la cobertura de agua potable en la RAM aumentó 0,5 % con respecto al 2016.

4.1.3. Recomendaciones

- Buscar nuevas fuentes de abastecimiento de un caudal suficiente para abastecer la demanda en las zonas vulnerables, que permitan una producción continua de agua de calidad potable.

- Evaluar la factibilidad de aplicar un tratamiento convencional al agua proveniente de fuentes superficiales en los cantones de Alajuelita y Escazú.

- Implementar medidas de protección en las zonas aledañas a las fuentes de abastecimiento superficial o zonas de protección; con el fin de evitar la contaminación del agua para logar una mejora en su calidad, al mismo tiempo que se reducen los costos de potabilización del agua.

- Realizar inspecciones sanitarias de las estructuras de los acueductos donde se detectó la presencia de coliformes fecales, y verificar el proceso de desinfección; con el fin de identificar las causas de la contaminación y deficiencias en el proceso.

- 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, especialmente la planta de Guadalupe, que presentaron valores de aluminio por encima del VMA.

4.2. Región Huetar Atlántica

4.2.1. Discusión

En el 2017, la Región Huetar Atlántica (RHA) le suministró agua al 10,2 % (238 599 habitantes) del total de la población abastecida por AyA (Cuadro 5.2), mediante 14 acueductos clorados y dos no clorados. De estos 16 acueductos totales, 13 suministraron agua potable a 232 495 habitantes, lo que corresponde al 97,4 % de la población de la RHA (Cuadro 5.1 y 5.3).

En la evaluación de la RHA, el 97,4 % de la población abastecida recibió agua de riesgo Muy Bajo (Azul); 0 % de riesgo Bajo (Verde); 1,8 % de riesgo Intermedio (Amarillo), 0,7 % de riesgo Alto (Naranja), y 0 % de riesgo Muy Alto (Rojo). En la Figura 5.4 se observa el porcentaje de la población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua.

Con respecto a las fuentes de abastecimiento, en la RHA el 94 % 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.

La calidad no potable del agua de la RHA se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos en los dos acueductos no clorados, y al incumplimiento de manganeso y amonio en el acueducto integrado que abastece Hone Creek y Puerto Viejo. Todos los acueductos clorados cumplieron con los criterios de los parámetros microbiológicos; mientras que, de los acueductos no clorados, ninguno cumplió con estos criterios. En el Cuadro 9.3 de los Apéndices se detalla la calidad del agua suministrada por todos los acueductos de la región.

Las nacientes Numancia 1 y Nueva La Calzada, que abastecieron a los acueductos no clorados en Barrio Los Ángeles de Pococí y Las Delicias de Pocora respectivamente, son las mismas que, una vez desinfectada el agua, abastecieron a otras comunidades en los distritos de Pocora, Guápiles, La Rita, Roxana y Jiménez. En ambos acueductos no clorados, la desinfección se aplica justo antes del ingreso del agua a los tanques; por ende, las comunidades abastecidas aguas arriba reciben un suministro sin cloración mediante

derivaciones de las tuberías de conducción localizadas a una altitud mayor que los tanques (J. Matarrita, Departamento de Producción y Distribución de la RHA, comunicación personal, febrero, 5, 2018).

El manganeso es considerado por las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) 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. Aunque las guías de la OMS establecen un valor de referencia para la salud de 0,4 mg/L de manganeso, sus efectos adversos no están totalmente claros, y los estudios no han llegado a conclusiones contundentes, con respecto al efecto negativo del manganeso al ser ingerido en el agua. Sin embargo, la presencia de manganeso en el agua puede causar acumulación de sedimentos en la red de distribución. Inclusive, concentraciones superiores a 0,05 mg/L pueden generar una coloración negra o café, causar un sabor desagradable, y causar manchas en la ropa y loza de baños y lavatorios (EPA, 2017).

El AyA cuenta con una planta de remoción de hierro y manganeso del agua del pozo 1 de Sand Box, que abastecen al acueducto integrado de Hone Creek y Puerto Viejo. De acuerdo con los datos recopilados para el 2017, la remoción del hierro fue eficiente, pero no la del manganeso; puesto que los puntos de muestreo del agua tratada presentaron concentraciones de manganeso superiores a 500 µg/L. Esta situación ha generado rechazo por parte de los consumidores, debido al cambio en las propiedades organolépticas del agua (color, sabor y olor). Por ende, el agua suministrada por este acueducto fue considerada de calidad no potable con un riesgo Intermedio (Amarillo).

Adicionalmente, el agua suministrada por este acueducto presentó niveles de amonio por encima del VMA. El origen del amonio en agua es un indicador de posible contaminación bacteriana por vertidos de aguas residuales domésticas, descomposición de materia orgánica, excesivo uso de fertilizantes o por procesos industriales. Las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) no consideran necesario establecer un valor de referencia, ya que el amonio/amoniaco no ocasiona ningún daño a la salud en agua con valores de pH entre 6,5 y 9,5 (Takó, 2010), y por lo general, el amonio en el agua de consumo se encuentra en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos (OMS, 2011). Sin embargo, el amonio puede interferir en la eficiencia del proceso de cloración; además puede oxidarse formando nitritos, compuestos considerados tóxicos para la salud, debido a que producen metahemoglobinemia o síndrome del recién

nacido cianótico (OMS, 2011; Takó, 2010).

El AyA contrató el diseño, construcción, puesta en marcha, operación y trasferencia tecnológica de una planta para la remoción de hierro y manganeso en el agua proveniente de los pozos 2 y 3 de Sand Box, que abastecerán el Sistema Integrado de Agua Potable para Limón Sur. Durante el segundo semestre del 2017 y enero de 2018, la UEN de Administración de Proyectos supervisó la Fase I de dicha contratación: diseño y desarrollo de una planta piloto. Actualmente, se encuentra pronta a iniciar la Fase II: Construcción. Esta nueva planta pretende suministrar agua de calidad potable a 14 comunidades localizadas entre la zona entre Bribri y Sixaola, y entre Puerto Viejo y Manzanillo. Sin embargo, esta planta no vendrá a sustituir a la planta de Hone Creek-Puerto Viejo, la cual seguirá en operación (J. Bolaños, UEN Administración de Proyectos, comunicación personal, febrero, 16, 2018).

Existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral (OMS, 2011). 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 67ª 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 tratada proveniente de la planta potabilizadora de Siquirres, pueden ser el resultado de una sobredosificación del coagulante-floculante durante el proceso de potabilización. Esta situación suele generar rechazo del agua por parte de los consumidores, debido a la deposición de flóculos en el agua producto de la interacción entre el exceso de aluminio y las partículas suspendidas, que continúa sucediendo en la red de distribución (OMS, 2011).

El agua proveniente de la planta de Siquirres fue considerada de calidad potable, y de riesgo Muy Bajo (Azul); ya que el promedio de las concentraciones en la red de

distribución, no fue lo suficientemente elevado (menor que 400 µg/L). No obstante, la situación de la planta no debe pasar desapercibida y podría remediarse optimizando el proceso de tratamiento.

En el 2017, la cobertura de agua potable en la RHA disminuyó 1,8 % con respecto al 2016 (Figura 5.1). Es importante destacar que el agua proveniente de los Pozos Sand Box durante el 2016, se consideró de calidad potable.

4.2.2. Conclusiones

- En el 2017, la RHA suministró, mediante 13 acueductos, agua de calidad potable a 232 495 habitantes, lo que equivale al 97,4 % de la población de la región.

- En la RHA, los porcentajes de población abastecida según el riesgo asociado a la calidad del agua fueron: 97,4 % Muy Bajo (Azul); 0 % Bajo (Verde); 1,8 % Intermedio (Amarillo), 0,7 % Alto (Naranja), y menos de 0 % Muy Alto (Rojo).

- La calidad no potable del agua de la RHA se debió al incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica en los dos acueductos no clorados; y al incumplimiento de manganeso y amonio en el acueducto integrado que abastece Hone Creek y Puerto Viejo.

- La acción desinfectante del cloro desempeñó un papel importante en la calidad microbiológica del agua, dado que todos los acueductos clorados cumplieron con los criterios de los parámetros microbiológicos, pero ninguno de los acueductos no clorados cumplió con estos criterios.

- Las zonas vulnerables a la contaminación microbiológica fueron Las Delicias de Pocora y Barrio los Ángeles de Pococí, ambas abastecidas por acueductos no clorados.

- En el 2017, la planta de tratamiento del pozo 1 de Sand Box, que abastecen a Hone Creek y Puerto Viejo, fue eficiente en cuanto a la remoción de hierro, pero ineficiente removiendo el manganeso del agua.

- El agua suministrada por la planta del acueducto integrado Hone Creek-Puerto

Viejo fue considerada de calidad no potable con riesgo Intermedio (Amarillo), debido a altas concentraciones reportadas de manganeso y amonio.

- Las concentraciones de aluminio superiores al VMA en el agua tratada de la planta potabilizadora de Siquirres, indican una posible sobredosificación de sulfato de aluminio.

- En el 2017, la cobertura de agua potable en la RHA disminuyó 1,8 % con respecto al 2016.

4.2.3. Recomendaciones

- Buscar nuevas fuentes de abastecimiento de un caudal suficiente para abastecer la demanda en las zonas vulnerables, que permitan una producción continua de agua de calidad potable.

- Evaluar la factibilidad de aplicar un tratamiento de desinfección del agua en los acueductos no clorados.

- Implementar medidas de protección en las zonas aledañas a las fuentes de abastecimiento; con el fin de evitar la contaminación del agua para logar una mejora en su calidad, al mismo tiempo que se reducen los costos de potabilización del agua.

- Controlar de manera adecuada la dosificación de sulfato de aluminio y el valor del pH durante el proceso de coagulación-floculación en la planta potabilizadora convencional de Siquirres, para evitar el incumplimiento por concentraciones de aluminio en la red de distribución.

- Optimizar la oxidación del manganeso en el proceso de remoción de la planta de Hone Creek-Puerto Viejo; o bien, contemplar la posibilidad de diluir el agua con la de otras fuentes de abastecimiento bajas en hierro y manganeso.

- Evaluar la posibilidad de construir la infraestructura necesaria para desinfectar el agua que abastece las comunidades Las Delicias de Pocora y Barrio los Ángeles de Pococí.

4.3. Región Chorotega

4.3.1. Discusión

En el 2017, la Región Chorotega (RCH) le suministró agua al 9,1 % (211 636 habitantes) del total de la población abastecida por AyA (Cuadro 5.2), mediante 55 acueductos clorados. Un 98,6 % de la población de la región recibió agua de calidad potable, mediante 51 acueductos, lo que equivale a 208 671 habitantes (Cuadro 5.1 y 5.3).

En la evaluación de la RCH, el 87,6 % de la población abastecida recibió agua de riesgo Muy Bajo (Azul); 11,0 % de riesgo Bajo (Verde); 0,8 % de riesgo Intermedio (Amarillo), 0,2 % de riesgo Alto (Naranja), y 0,4 % de riesgo Muy Alto (Rojo). En la Figura 5.4 se observa el porcentaje de la población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua.

Con respecto a las fuentes de abastecimiento, en la RCH un 87 % fueron nacientes, un 11 % fueron pozos y solo un 2 % 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.

Cuatro acueductos suministraron agua de calidad no potable. Solo uno de estos acueductos no cumplió con los criterios microbiológicos. La calidad no potable del agua, de los acueductos restantes se debió al incumplimiento de los siguientes parámetros físico-químicos: calcio, dureza total y conductividad eléctrica, o aluminio y pH bajo. En el Cuadro 9.4 de los Apéndices se detalla la calidad del agua suministrada por todos los acueductos de la región.

En el acueducto, que abasteció a la comunidad de Polvazales de Mansión de Nicoya, se detectó la presencia de coliformes fecales, aun cuando las concentraciones de cloro residual libre se mantuvieron dentro del ámbito establecido por el reglamento de (0,3 a 0,6) mg/L; por lo que el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Alto. Por otro lado, el acueducto CH-A-26-Cañas, aunque fue considerado de calidad potable, reportó cloro residual libre por debajo del valor mínimo (0,3 mg/L), en la mayoría de los análisis realizados; por lo que el riesgo asociado a la calidad del agua fue Bajo (Verde).

Los resultados de los análisis microbiológicos y de cloro residual libre, demuestran que la presencia del desinfectante en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales, ni la ausencia de éste implica la presencia de coliformes fecales. No obstante, un proceso de desinfección adecuado reduce la carga microbiana en el agua, disminuyendo el riesgo de contaminación por patógenos.

La dureza total en el agua se debe a varios iones metálicos polivalentes, principalmente cationes de calcio y magnesio (OMS, 2011). Según sea la interacción con otros factores, como el pH y la alcalinidad, el agua con una dureza superior a 200 mg/L puede causar incrustaciones en las tuberías y tanques. La dureza total es la medida tradicional de la capacidad del agua para reaccionar con jabón, ya que el agua dura requiere de más jabón para producir espuma (OMS, 2011).

Las Guías para la Calidad del Agua Potable no consideran la dureza total como de significado para la salud; sin embargo, la presencia de calcio y magnesio 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 mg/L y 300 mg/L, dependiendo del anión asociado; no obstante, no es de significado para la salud (OMS, 2013).

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica, y es la inversa de la resistividad de la solución. La capacidad para transmitir una corriente eléctrica en agua depende de la presencia de iones, de su concentración, movilidad, valencia, de la temperatura ambiental, y de los sólidos disueltos totales. Concentraciones elevadas de calcio, aumentan la conductividad eléctrica en el agua.

La base de datos del LNA registra valores de conductividad eléctrica desde el 2008 hasta la fecha; dichos valores indican que prácticamente la totalidad del agua utilizada para abastecer los acueductos de Costa Rica, presentan conductividades menores a 1 000 µS/cm. El equipo técnico interdisciplinario del LNA, que realizó el IRCACH, determinó que es posible cumplir con el reglamento vigente, aun cuando la conductividad tenga valores cercanos a 1 000 µS/cm (Laboratorio Nacional de Aguas, 2017).

Los acueductos que abastecieron a las comunidades de Barbudal de Colorado de Abangares y Bolsón de Santa Cruz, suministraron agua no potable, debido a la presencia de altas concentraciones de calcio, que a la vez aumentó los niveles de dureza total y conductividad eléctrica. En ambos casos, el riesgo asociado a la calidad del agua fue

considerado Intermedio.

El acueducto que suministró agua a las comunidades de Mansión, Barra Honda y Pueblo Viejo de Nicoya, presentó concentraciones de calcio superiores al VMA, pero que no presentó valores de dureza total superiores al VMA, ni valores conductividad eléctrica cercanos a 1000 µS/cm. Por lo tanto, el acueducto fue considerado de calidad potable, y el riesgo asociado a la calidad del agua fue Bajo (Verde).

Existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral (OMS, 2011). 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 67ª 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 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. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) clasifica al pH como un parámetro secundario (*secondary standard*), alegando que su efecto en el agua es de tipo estético (modifica características organolépticas del agua) y técnico (daña equipo e infraestructura o reduce la eficiencia de los tratamientos de potabilización).

No obstante, un pH ácido (menores a 6,0), además de generar corrosión en las tuberías metálicas, fomenta que se disuelvan los metales de la corteza terrestre en el agua (EPA, 2017); por lo que el riesgo aumenta cuando se reportan metales, como el aluminio, en agua con pH ácido. El acueducto que abastece a la comunidad de Curubandé de Liberia, suministró agua de calidad no potable, debido a la presencia de concentraciones de aluminio superiores al valor de riesgo para la salud, y a valores de pH inferiores a 5,0. El riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Muy Alto (Rojo).

El arsénico es considerado como una de las sustancia químicas de origen natural de mayor riesgo para la salud del consumidor (OMS, 2011). En septiembre del 2014, comenzaron a operar plantas de remoción de arsénico en acueductos rurales que

presentaron altos niveles de arsénico en la zona de Bagaces, Cañas y Los Chiles, detectados desde el 2010. 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).

Los acueductos que abastecen a las comunidades de Bebedero de Cañas y Quintas don Miguel de Bagaces presentaron concentraciones de arsénico cercanas al VMA, pero no superiores. Por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue Bajo (Verde) en ambos casos.

En el 2017, la cobertura de agua potable en la RCH aumentó 0,9 % con respecto al 2016 (Figura 5.1).

4.3.2. Conclusiones

- En el 2017, la RCH suministró, mediante 51 acueductos, agua de calidad potable a 208 671 habitantes, lo que equivale al 98,6 % de la población de la región.

- En la RCH, los porcentajes de población abastecida según el riesgo asociado a la calidad del agua fueron: 87,6 % Muy Bajo (Azul); 11,0 % Bajo (Verde); 0,8 % Intermedio (Amarillo), 0,2 % Alto (Naranja), y menos de 0,4 % Muy Alto (Rojo).

- La calidad no potable del agua de la RCH se debió al incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica en solo uno de los acueductos; y el resto se debió al incumplimiento de los siguientes parámetros físico-químicos: calcio, dureza total y conductividad eléctrica, o aluminio y pH bajo.

- Polvazales de Mansión de Nicoya se consideró una zona vulnerable a la contaminación microbiológica, ya que se detectó la presencia de coliformes fecales, aun cuando las concentraciones de cloro residual libre se mantuvieron dentro del ámbito establecido por el reglamento de (0,3 a 0,6) mg/L; el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Alto (Naranja).

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

- Los acueductos que abastecieron a las comunidades de Barbudal de Colorado de Abangares y Bolsón de Santa Cruz, suministraron agua de calidad no potable, debido a los altos valores de calcio, dureza total y conductividad eléctrica; el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Intermedio (Amarillo).

- El acueducto que abasteció la comunidad de Curubandé de Liberia, suministró agua de calidad no potable, debido a las altas concentraciones de aluminio y valores de pH inferiores a 5,0; el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Muy Alto (Rojo).

- El riesgo Bajo (Verde) asociado a la calidad del agua de cuatro acueductos se debió, ya sea a concentraciones de arsénico cercanas al VMA, concentraciones de calcio por encima del VMA, o concentraciones de cloro residual libre inferiores a 0,3 mg/L.

- En el 2017, la cobertura de agua potable en la RCH aumentó 0,9 % con respecto al 2016.

4.3.3. Recomendaciones

- En los acueductos operados por AyA, que abastecen Curubandé de Liberia, Barbudal de Colorado de Abangares y Bolsón de Santa Cruz, se recomienda apegarse 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, especialmente en los que se detectó la presencia de coliformes fecales o un residual bajo de cloro libre.

4.4. Región Central

4.4.1. Discusión

En el 2017, la Región Central (RC) le suministró agua al 6,4 % (150 334 habitantes) del total de la población abastecida por AyA (Cuadro 5.2), mediante 33 acueductos clorados y cinco no clorados. De estos 38 acueductos totales, 33 suministraron agua potable a 150 242 habitantes, lo que corresponde al 99,9 % de la población de la RC (Cuadro 5.1 y 5.3).

En la evaluación de la RC, el 99,9 % de la población abastecida recibió agua de riesgo Muy Bajo (Azul); 0 % de riesgo Bajo (Verde); 0 % de riesgo Intermedio (Amarillo), 0,1 % de riesgo Alto (Naranja), y 0 % de riesgo Muy Alto (Rojo). En la Figura 5.4 se observa el porcentaje de la población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua.

Con respecto a las fuentes de abastecimiento, en la RC un 61 % correspondió a nacientes (fuentes subsuperficiales), un 29 % a pozos (fuentes subterráneas), y un 10 % a fuentes superficiales (Cuadro 1.2). Según el estudio realizado en fuentes de abastecimiento de AyA durante el 2015, a la hora de determinar la calidad de las fuentes de abastecimiento superficiales, los parámetros microbiológicos presentan un papel más relevante que los físico-químicos (Orozco & Solís, 2016).

La calidad no potable del agua de la RC se debió únicamente al incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica. Todos los acueductos clorados cumplieron con los criterios de los parámetros microbiológicos; mientras que, de los acueductos no clorados, ninguno cumplió con estos criterios y su riesgo asociado a la calidad fue considerado Alto (Naranja). El acueducto CO-A-28-Purires Abajo presentó además niveles de turbiedad por encima del VMA. En el Cuadro 9.5 de los Apéndices se detalla la calidad del agua suministrada por todos los acueductos de la región.

Los resultados evidencian la importancia de la correcta aplicación del cloro en el agua. La acción desinfectante del cloro reduce la carga microbiana y previene posibles cuadros clínicos asociados a la presencia de patógenos, gracias a su efecto residual que disminuye el riesgo de contaminación microbiana.

Los acueductos no clorados abastecieron comunidades del cantón de Turrubares. La mayoría 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. Asimismo, estas comunidades se encuentran 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 abastecidas por este acueducto clorado, ya que el agua se suministra por gravedad y los usuarios 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).

Estos acueductos no clorados abastecieron a una población reducida (92 habitantes), que equivale aproximadamente al 0,1 % de la población total de la RC. 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. No obstante, el abastecimiento por camiones cisternas es una medida temporal; por lo tanto, la solución definitiva para suministrar agua potable a estos ciudadanos debe ser prioridad en la agenda 2018 de la RC.

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. 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 67ª 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.

Aunque el acueducto CO-A-08-Alto López se consideró de calidad potable, la naciente presentó concentraciones de aluminio por encima de 1 000 µg/L y aproximadamente 450 µg/L de hierro, lo cual se refleja en el punto de la red de distribución denominado “Red de la naciente”. El presente informe, calificó al acueducto como potable, debido a que el otro punto de la red, cumplió con los criterios de calidad físico-químicos. De igual forma, resulta difícil determinar la proporción de la población que recibió agua únicamente de la naciente. Los reportes puntuales de los parámetros se detallan en los

En el 2017, la cobertura de agua potable en la RC se mantuvo igual que en el 2016 (Figura 5.1). Sin embargo, el porcentaje de potabilidad del agua ha venido incrementando desde el 2012.

4.4.2. Conclusiones

- En el 2017, la RC suministró, mediante 33 acueductos, agua de calidad potable a 150 242 habitantes, lo que equivale al 99,9 % de la población de la región.

- En la RC, los porcentajes de población abastecida según el riesgo asociado a la calidad del agua fueron: 99,9 % Muy Bajo (Azul); 0 % de (Verde); 0 % Intermedio (Amarillo), 0,1 % Alto (Naranja), y menos de 0 % Muy Alto (Rojo).

- 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, ninguno de los acueductos no clorados fue de calidad potable.

- Los acueductos no clorados se ubicaron en el cantón de Turrubares.

- La falta de un tratamiento de potabilización y la ausencia de cloro residual libre en el agua proveniente de las fuentes de abastecimiento superficiales, que abastecen poblados en Turrubares, representan un factor de alto riesgo por contaminación microbiana.

- La naciente que abasteció al acueducto CO-A-08-Alto López, presentó altas concentraciones de hierro y aluminio; sin embargo, la calidad general del acueducto fue considerada potable.

- En el 2017, la cobertura de agua potable en la RC se mantuvo igual que en el 2016.

4.4.3. Recomendaciones

- Evaluar la factibilidad de aplicar un tratamiento convencional al agua de fuentes superficiales no cloradas, del cantón de Turrubares; o bien, buscar nuevas fuentes de abastecimiento de un caudal suficiente para abastecer la demanda en estas zonas vulnerables, que permitan una producción continua de agua de calidad potable.

- 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.

- Evaluar la posibilidad de suministrar agua potable a la población, actualmente abastecida por el acueducto CO-A-08-Alto López, mediante otros acueductos de la región; o bien, mediante nuevas fuentes de abastecimiento.

4.5. Región Brunca

4.5.1. Discusión

En el 2017, la Región Brunca (RB) le suministró agua al 8,0 % (187 596 habitantes) del total de la población abastecida por AyA (Cuadro 5.2), mediante 28 acueductos clorados. Un 97,5 % de la población de la región recibió agua de calidad potable, mediante 23 acueductos, lo que equivale a 182 888 habitantes (Cuadro 5.1 y 5.3).

En la evaluación de la RB, el 97,5 % de la población abastecida recibió agua de riesgo Muy Bajo (Azul); 0 % de riesgo Bajo (Verde); 0,1 % de riesgo Intermedio (Amarillo), 2,0 % de riesgo Alto (Naranja), y 0,4 % de riesgo Muy Alto (Rojo). En la Figura 5.4 se observa el porcentaje de la población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua.

Con respecto a las fuentes de abastecimiento, en la RB un 59 % fueron nacientes (fuentes subsuperficiales), un 26 % fueron pozos (fuentes subterráneas) y un 15 % 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; y viceversa para las fuentes de abastecimiento superficiales.

Cinco acueductos suministraron agua de calidad no potable. Estos acueductos no cumplieron con los criterios microbiológicos, con la excepción del acueducto que abasteció a la comunidad de Coto 44, donde la causa de la no potabilidad, se debió a las altas concentraciones de hierro y manganeso. En el Cuadro 9.6 de los Apéndices se detalla la calidad del agua suministrada por todos los acueductos de la región.

Las zonas vulnerables a la contaminación microbiana fueron las comunidades de Tinamaste y Alfombra de Barú, Palmar Sur de Osa y Abrojo de Ciudad Neily. Estas zonas fueron abastecidas mediante cuatro acueductos operados por AyA con agua no potable, debido a que se detectó la presencia de coliformes fecales. No obstante, los acueductos mantuvieron un residual de cloro libre dentro del ámbito establecido de (0,3 a 0,6) mg/L; por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Alto (Naranja). Solo uno de los acueductos no potables reportó cloro residual libre inferior a 0,3 mg/L y presencia de coliformes fecales, lo cual incrementó el riesgo asociado a la

calidad del agua; por tanto, el riesgo se consideró Muy Alto (Rojo).

La presencia del cloro residual libre en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales. La presencia de coliformes fecales en agua clorada, sugiere que hubo un deficiente tratamiento de desinfección; ya sea por a una dosificación de cloro inadecuada, tiempo insuficiente de contacto entre el agua y el cloro, discontinuidad del proceso de cloración, falta de limpieza de la tubería, conexiones cruzadas, falta de continuidad del servicio y zonas de baja presión. Se debe considerar que, las zonas de bajo consumo, donde el agua permanece por bastante tiempo en la tubería, son más propensas a contaminarse.

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 0,3 mg/L, el agua puede teñir y dañar tuberías y la ropa cuando se lava.

Aunque las guías de la OMS establecen un valor de referencia para la salud de 0,4 mg/L de manganeso, sus efectos adversos no están totalmente claros, y los estudios no han llegado a conclusiones contundentes, con respecto al efecto negativo del manganeso al ser ingerido en el agua. Sin embargo, la presencia de manganeso en el agua puede causar acumulación de sedimentos en la red de distribución. Inclusive, concentraciones superiores a 0,05 mg/L pueden generar una coloración negra o café, causar un sabor desagradable, y causar manchas en la ropa y loza de baños y lavatorios (EPA, 2017).

El acueducto que abasteció a los habitantes de Coto 44 en Corredores, suministró agua de calidad no potable, debido a las elevadas concentraciones de hierro y manganeso en el agua. Además, se reportaron valores de color por encima del VMA, lo que podría generar rechazo por parte de los consumidores. El riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Intermedio (Amarillo).

En el 2017, la cobertura de agua potable en la RB disminuyó 0,1 % con respecto al 2016 (Figura 5.1).

4.5.2. Conclusiones

- En el 2017, la RB suministró, mediante 23 acueductos, agua de calidad potable a 182 888 habitantes, lo que equivale al 97,5 % de la población de la región.

- En la RB, los porcentajes de población abastecida según el riesgo asociado a la calidad del agua fueron: 97,5 % Muy Bajo (Azul); 0 % Bajo (Verde); 0,1 % Intermedio (Amarillo), 2,0 % Alto (Naranja), y menos de 0,4 % Muy Alto (Rojo).

- La calidad no potable del agua de la RB se debió únicamente al incumplimiento de los criterios microbiológicos, con la excepción de un acueducto, que incumplió los criterios establecidos para hierro, manganeso y color.

- Las zonas vulnerables a la contaminación microbiana fueron las comunidades de Tinamaste y Alfombra de Barú, Palmar Sur de Osa y Abrojo de Ciudad Neily.

- Tres acueductos, en donde se detectó la presencia de coliformes fecales, mantuvieron un residual de cloro libre dentro del ámbito establecido de (0,3 a 0,6) mg/L; por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Alto (Naranja).

- Solo un acueducto reportó cloro residual libre inferior a 0,3 mg/L y presencia de coliformes fecales; lo cual incrementó el riesgo asociado a la calidad del agua, por lo que se consideró riesgo Muy Alto (Rojo).

- La presencia del cloro residual libre en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales.

- El acueducto que abasteció a la comunidad de Coto 44 en Corredores, suministró agua de calidad no potable, debido al incumplimiento en las concentraciones de hierro y manganeso, provocando una coloración en el agua; por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Intermedio (Amarillo).

- En el 2017, la cobertura de agua potable en la RB disminuyó 0,1 % con respecto al 2016.

4.5.3. Recomendaciones

- 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, especialmente en los que se detectó la presencia de coliformes fecales.

- Realizar inspecciones sanitarias de las estructuras de los acueductos donde se detectó la presencia de coliformes fecales, y verificar el proceso de desinfección; con el fin de identificar las causas de la contaminación y deficiencias en el proceso.

- Para el caso del acueducto que abastece la comunidad de Coto 44 se recomienda apegarse al Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, elaborado por la Comisión de Potabilización del AyA.

4.6. Región Pacífico Central

4.6.1. Discusión

En el 2017, la Región Pacífico Central (RPC) le suministró agua al 10,5 % (245 170 habitantes) del total de la población abastecida por AyA (Cuadro 5.2), mediante 34 acueductos clorados. Un 97,5 % de la población de la región recibió agua de calidad potable, mediante 29 acueductos, lo que equivale a 239 134 habitantes (Cuadro 5.1 y 5.3).

En la evaluación de la RB, el 97,5 % de la población abastecida recibió agua de riesgo Muy Bajo (Azul); 0,1 % de riesgo Bajo (Verde); 1,3 % de riesgo Intermedio (Amarillo), 0,4 % de riesgo Alto (Naranja), y 0,7 % de riesgo Muy Alto (Rojo). En la Figura 5.4 se observa el porcentaje de la población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua.

Con respecto a las fuentes de abastecimiento, en la RPC un 66 % fueron pozos (fuentes subterráneas), un 28 % fueron nacientes (fuentes subsuperficiales) y 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.

La calidad no potable del agua de la RPC se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos y al incumplimiento de los siguientes parámetros físico-químicos: hierro y manganeso, o aluminio y pH bajo. En el Cuadro 9.7 de los Apéndices se detalla la calidad del agua suministrada por todos los acueductos de la región.

Las zonas vulnerables a la contaminación microbiana fueron las comunidades de Juan de Dios Vásquez de Palmares, El Llano de San Miguel de Barranca y Santa Teresa de Cóbano. Dos de estos acueductos no potables por presencia de coliformes fecales, mantuvieron un residual de cloro libre dentro del ámbito establecido de (0,3 a 0,6) mg/L; por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Alto (Naranja).

El acueducto que abasteció a la comunidad de Santa Teresa de Cóbano, no sólo presentó contaminación microbiana, sino también conductividades eléctricas de aproximadamente 700 µS/cm, y concentraciones de sodio y potasio superiores a sus

respectivos VMA; aunado a concentraciones de cloro residual libre inferiores a al valor mínimo establecido (0,3 mg/L). Por ende, el riesgo asociado a la calidad del agua de este acueducto fue Muy Alto (Rojo).

Los acueductos PC-A-09-Paco Rodríguez y PC-A-33-Uvita de Orotina sector La Trinidad, aunque fueron considerados de calidad potable, presentaron concentraciones de cloro residual libre por debajo del valor mínimo (0,3 mg/L), en la mayoría de los análisis realizados. Por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue Bajo (Verde).

Los resultados de los análisis microbiológicos y de cloro residual libre, demuestran que la presencia del desinfectante en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales, ni la ausencia de éste implica la presencia de coliformes fecales. La presencia de coliformes fecales en agua clorada, indica un deficiente tratamiento de desinfección; ya sea por a una dosificación de cloro inadecuada, tiempo insuficiente de contacto entre el agua y el cloro, discontinuidad del proceso de cloración, falta de limpieza de la tubería, conexiones cruzadas, falta de continuidad del servicio y zonas de baja presión. Se debe considerar, además, que las zonas de bajo consumo, donde el agua permanece por bastante tiempo en la tubería, son más propensas a contaminarse.

El hierro y manganeso 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 0,3 mg/L, el agua puede teñir y dañar tuberías y la ropa cuando se lava.

Aunque las guías de la OMS establecen un valor de referencia para la salud de 0,4 mg/L de manganeso, sus efectos adversos no están totalmente claros, y los estudios no han llegado a conclusiones contundentes, con respecto al efecto negativo del manganeso al ser ingerido en el agua. Sin embargo, la presencia de manganeso en el agua puede causar acumulación de sedimentos en la red de distribución. Inclusive, concentraciones superiores a 0,05 mg/L pueden generar una coloración negra o café, causar un sabor desagradable, y causar manchas en la ropa y loza de baños y lavatorios

(EPA, 2017).

El acueducto que abasteció a los habitantes de Esterillos de Parrita, suministró agua de calidad no potable, debido a las elevadas concentraciones de hierro y manganeso en el agua, aunado a concentraciones de cloro residual libre inferiores a al valor mínimo establecido (0,3 mg/L). El riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Intermedio (Amarillo).

Aunque el acueducto PC-A-06-Palmares-Zaragoza se consideró de calidad potable, el Pozo Y Griega 1 presentó concentraciones de hierro por encima de 1 000 µg/L, lo cual se refleja en el punto de la red de distribución denominado “La Y Griega”. El presente informe, calificó al acueducto como potable, debido a que el resto de sus fuentes de abastecimiento tratadas y los demás puntos de la red, cumplieron los criterios de calidad físico-químicos. Igualmente, resulta difícil determinar la proporción de la población que recibió agua únicamente del Pozo Y Griega 1. Los reportes puntuales de los parámetros se detallan en los Apéndices Generales.

Existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral (OMS, 2011). 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 67ª 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 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. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) clasifica al pH como un parámetro secundario (*secondary standard*), alegando que su efecto en el agua es de tipo estético (modifica características organolépticas del agua) y técnico (daña equipo e infraestructura o reduce la eficiencia de los tratamientos de potabilización).

No obstante, un pH ácido (menores a 5,0), además de generar corrosión en las tuberías metálicas, fomenta que se disuelvan los metales de la corteza terrestre en el agua

(EPA, 2017); por lo que el riesgo aumenta cuando se reportan metales, como el aluminio, en agua con pH ácido. El acueducto PC-A-21-Zagal-Villa Bruselas-Cebadilla, suministró agua de calidad no potable, debido a la presencia de concentraciones de aluminio superiores al valor de riesgo para la salud, y a valores de pH inferiores a 5,0. El riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Muy Alto (Rojo).

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). Actualmente, la RPC está a cargo de la construcción de la nueva planta de remoción, la cual se encuentra en las últimas etapas (A. Lazo, UEN Investigación y Desarrollo, comunicación personal, febrero, 15, 2018).

En el 2017, la cobertura de agua potable en la RPC disminuyó 0,9 % con respecto al 2016 (Figura 5.1).

4.6.2. Conclusiones

- En el 2017, la RPC suministró, mediante 29 acueductos, agua de calidad potable a 239 134 habitantes, lo que equivale al 97,5 % de la población de la región.

- En la RPC, los porcentajes de población abastecida según el riesgo asociado a la calidad del agua fueron: 97,5 % Muy Bajo (Azul); 0,1 % Bajo (Verde); 1,3 % Intermedio (Amarillo), 0,4 % Alto (Naranja), y menos de 0,7 % Muy Alto (Rojo).

- La calidad no potable del agua de la RPC se debió al incumplimiento de los criterios de calidad microbiológica y al incumplimiento de los siguientes parámetros físico-químicos: hierro y manganeso, o aluminio y pH bajo.

- Las zonas vulnerables a la contaminación microbiana fueron las comunidades de Juan de Dios Vásquez de Palmares, El Llano de San Miguel de Barranca y Santa Teresa de Cóbano.

- Dos acueductos no potables por presencia de coliformes fecales, mantuvieron un residual de cloro libre dentro del ámbito establecido de (0,3 a 0,6) mg/L; por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Alto (Naranja).

- El acueducto que abasteció a la comunidad de Santa Teresa de Cóbano, suministró agua no potable, ya que se detectó la presencia de coliformes fecales, elevados valores de conductividad eléctrica, concentraciones de sodio y potasio superiores a sus respectivos VMA, y concentraciones de cloro residual libre inferiores a al valor mínimo establecido (0,3 mg/L); por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue Muy Alto (Rojo).

- El riesgo Bajo (Verde) se debió a concentraciones nulas o insuficientes de cloro residual libre en las muestras recolectadas.

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

- El acueducto PC-A-21-Zagal-Villa Bruselas-Cebadilla, suministró agua de calidad no potable, debido a la presencia de concentraciones de aluminio superiores al valor de riesgo para la salud, y a valores de pH inferiores a 5,0; el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Muy Alto (Rojo).

- El acueducto que abasteció a los habitantes de Esterillos de Parrita, suministró agua de calidad no potable, debido a las elevadas concentraciones de hierro y manganeso en el agua, aunado a concentraciones de cloro residual libre inferiores a al valor mínimo establecido (0,3 mg/L); por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Intermedio.

- El Pozo Y Griega 1 que abasteció al acueducto PC-A-06-Palmares-Zaragoza, presentó concentraciones de hierro por encima de 1 000 µg/L; sin embargo, la calidad general del acueducto fue considerada potable.

- En el 2017, la cobertura de agua potable en la RPC disminuyó 0,9 % con respecto al 2016.

4.6.3. Recomendaciones

- 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, especialmente en los que se detectó la presencia de coliformes fecales o un residual bajo de cloro libre.

- Realizar inspecciones sanitarias de las estructuras de los acueductos donde se detectó la presencia de coliformes fecales, y verificar el proceso de desinfección; con el fin de identificar las causas de la contaminación y deficiencias en el proceso.

- Buscar nuevas fuentes de abastecimiento de un caudal suficiente para abastecer la demanda de agua potable en la comunidad de Santa Teresa de Cóbano, y así remplazar las fuentes que presentaron altas concentraciones de sales diluidas.

- Llevar a cabo la puesta en marcha del sistema de remoción de aluminio y acondicionamiento de pH en el acueducto PC-A-21-Zagal-Villa Bruselas-Cebadilla, a cargo de la RPC. Además, otorgar los recursos necesarios para la operación y mantenimiento, que garanticen la sostenibilidad del tratamiento a lo largo del tiempo.

- Sacar de operación el Pozo Y Griega 1 del acueducto PC-A-06-Palmares-Zaragoza; o bien, diluir el agua del pozo con la del resto de las fuentes que cumplen los criterios de calidad físico-químicos, con el fin de bajar las concentraciones de hierro.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERALES

Los resultados de los análisis puntuales de todos los parámetros de las muestras recolectadas, se incluyen dentro de los Apéndices Generales del presente informe. 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 provocar 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.

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.

Cobertura de agua potable

La población total abastecida por los acueductos operados por AyA en Costa Rica, en el 2017, fue de 2 335 953 personas. Un 99,0 % (2 313 006 habitantes) recibió agua de calidad potable (Cuadro 5.3), lo que equivale al 46,8 % de la población nacional. Un 99,8 % fue abastecido con agua clorada, y el resto (5 110 habitantes), repartidos entre la RAM, la RHA y la RC, recibieron agua no clorada (Cuadro 1.1).

Los porcentajes de potabilidad se calcularon con base en la población abastecida con agua de calidad potable. Estos porcentajes varían en función de la cantidad de habitantes de los acueductos calificados como no potables. Es decir, un acueducto que suministre agua no potable a 50 000 personas, va a reducir considerablemente el porcentaje de potabilidad, que uno que suministre agua no potable a 500 personas.

En los Cuadros 5.1 al 5.5 se detallan el número de acueductos operados por AyA y las poblaciones abastecidas, de acuerdo a la calidad del agua suministrada en el 2017. El Cuadro 5.2 muestra porcentajes de poblaciones abastecidas con respecto a la población total abastecida por AyA; mientras que, el Cuadro 5.3 muestra porcentajes de poblaciones abastecidas con respecto a la población abastecida por cada región. Los Cuadros 5.4 y 5.5 presentan los porcentajes de poblaciones abastecidas en los acueductos clorados y no clorados respectivamente, contra el total de la población abastecida por cada región. En los Cuadros 9.1 al 9.7 de los Apéndices se enumeran los acueductos operados por AyA, junto con su correspondiente calidad y riesgo asociado a esta.

Cuadro 5.1. Número de sistemas de los acueductos operados por las regiones del AyA según calidad del agua de consumo en el 2017.

Región	Totales				Clorados				No clorados			
	Potable	No potable	SE	Total	Potable	No potable	SE	Total	Potable	No potable	SE	Total
Área Metropolitana	24	8	1	33	22	3	0	25	2	5	1	8
Brunca	23	5	0	28	23	5	0	28	0	0	0	0
Central	33	5	0	38	33	0	0	33	0	5	0	5
Chorotega	51	4	0	55	51	4	0	55	0	0	0	0
Huetar Atlántica	13	3	0	16	13	1	0	14	0	2	0	2
Pacífico Central	29	5	0	34	29	5	0	34	0	0	0	0
Totales	**173**	**30**	**1**	**204**	**171**	**18**	**0**	**189**	**2**	**12**	**1**	**15**

SE: Acueductos sin evaluar.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

La provincia con mayor número de personas abastecidas por acueductos operados por AyA, para el 2017, fue San José con 1 365 789 habitantes; mientras que Cartago y Heredia fueron las provincias donde menor cantidad de habitantes se abastecieron mediante acueductos operados por AyA, siendo 22 465 y 29 893 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 96,2 %. En el Cuadro 5.7 se detalla la población abastecida por acueductos operados por AyA, según provincia y calidad del agua.

Cuadro 5.2. Población abastecida por acueductos operados por AyA durante el 2017.

Región	Población abastecida	
	No.	%
Área Metropolitana	1302617	55,8
Brunca	187596	8,0
Central	150334	6,4
Chorotega	211636	9,1
Huetar Atlántica	238599	10,2
Pacífico Central	245170	10,5
Totales	**2335953**	**100**

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

El número total de acueductos operados por AyA en el 2017, por provincia, se resume en el Cuadro 5.6, así como su calidad y la aplicación de desinfección. De los 15 acueductos no clorados, 13 se ubican la provincia de San José: cinco en el cantón de Escazú, tres 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.

En términos generales, la calidad del agua ha mejorado en los últimos seis años. En el 2017, el porcentaje de población abastecida con agua de calidad potable, proveniente de acueductos operados por AyA, aumentó 0,1 % con respecto al 2016. El porcentaje de potabilidad del agua se ha venido incrementando, pasando de 98,3 % de potabilidad en el 2012, a 99,0 % en el 2017 (Figura 5.2). La región que presentó la mayor cobertura con agua potable fue la RC con 99,9 %; mientras que la RHA presentó la menor cobertura con 97,4 % (Figura 5.1).

El número de acueductos no clorados ha disminuido en los últimos años (Figura 5.5) y los controles de calidad son cada vez más eficientes, permitiendo 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 de alta tecnología, capaz de detectar concentraciones muy bajas de metales pesados y sustancias químicas de significado para la salud con diferentes niveles de toxicidad. Con frecuencia, la administración y operación de acueductos comunales, donde se han detectado problemas con contaminantes químicos, han sido asumidas por AyA.

Cuadro 5.3. Calidad del agua en acueductos administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2017.

Región	Población abastecida		Calidad del agua					
			Potable		No potable		Sin Evaluar	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Área Metropolitana	1302617	100	1299576	99,8	2941	0,2	101	0,008
Brunca	187596	100	182888	97,5	4708	2,5	0	0,0
Central	150334	100	150242	99,9	92	0,1	0	0,0
Chorotega	211636	100	208671	98,6	2965	1,4	0	0,0
Huetar Atlántica	238599	100	232495	97,4	6104	2,6	0	0,0
Pacífico Central	245170	100	239134	97,5	6036	2,5	0	0,0
Totales	**2335953**	**100**	**2313006**	**99,0**	**22846**	**1,0**	**101**	**0,0**

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cuadro 5.4. Calidad del agua en acueductos clorados administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2017.

Región	Población abastecida		Calidad del agua acueductos clorados					
			Potable		No potable		Sin evaluar	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Área Metropolitana	1299328	100	1299007	100	321	0,0	0	0,0
Brunca	187596	100	182888	97,5	4708	2,5	0	0,0
Central	150242	100	150242	100	0	0,0	0	0,0
Chorotega	211636	100	208671	98,6	2965	1,4	0	0,0
Huetar Atlántica	236871	100	232495	98,2	4376	1,8	0	0,0
Pacífico Central	245170	100	239134	97,5	6036	2,5	0	0,0
Totales	**2330843**	**100**	**2312437**	**99,2**	**18406**	**0,8**	**0**	**0,0**

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cuadro 5.5. Calidad del agua en acueductos *no* clorados administrados por AyA según población abastecida por región durante el 2017.

Región	Población abastecida		Calidad del agua acueductos no clorados					
			Potable		No potable		Sin evaluar	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Área Metropolitana	3290	100	569	17,3	2620	79,7	101	3,1
Central	92	100	0	0,0	92	100,0	0	0,0
Huetar Atlántica	1728	100	0	0,0	1728	100,0	0	0,0
Totales	**5110**	**100**	**569**	**11,1**	**4441**	**86,9**	**0**	**2,0**

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

La calidad no potable de los acueductos operados por AyA en el 2017, se debió principalmente al incumplimiento de los criterios microbiológicos. De los 30 acueductos que suministraron agua de calidad no potable, 23 fue por incumplimiento de los criterios microbiológicos, y siete por incumplimiento de valores en los parámetros fisicoquímicos. En los Cuadros 9.1 al 9.7 de los Apéndices se enumeran todos los acueductos operados por AyA, junto con su correspondiente calidad del agua, riesgo asociado a ésta y los parámetros incumplidos.

Parámetros microbiológicos

Las zonas vulnerables a la contaminación microbiológica, donde se detectó la presencia de coliformes fecales, fueron: Matinilla de Santa Ana, Alajuelita, Escazú (RAM); Barrio Los Ángeles de Pococí y Las Delicias de Pocora (RHA); Polvazales de Mansión de Nicoya (RCH); Tinamaste y Alfombra de Barú, Palmar Sur de Osa y Abrojo de Ciudad Neily (RB); Juan de Dios Vásquez de Palmares, El Llano de San Miguel de Barrance y Santa Teresa de Cóbano (RPC); y el cantón de Turrubares (RC). En estas zonas se incluyen acueductos clorados y no clorados.

En la Figura 5.3 se observa los porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable y no potable; aproximadamente un 1 % de la población abastecida por acueductos clorados recibieron agua no potable, mientras que, aproximadamente un 89 % recibió agua no potable en el caso de los acueductos no clorados. En el caso de los acueductos no clorados, el bajo porcentaje de potabilidad (11 %) se debió únicamente al incumplimiento de los criterios microbiológicos; mientras que, la no potabilidad de los acueductos clorados se debió al incumplimiento, tanto de criterios microbiológicos, como físico-químicos.

Aunque la ingesta de agua cruda implica un grave riesgo para la salud de los consumidores, para el 2017 el AyA contó con 15 acueductos sin desinfección (no clorados). Solo dos de los acueductos no clorados, suministraron agua potable (ME-A-25.3-Bebedero de Escazú y ME-A-09.2-Linda Vista de San Josecito, ambos de la RAM); el acueducto ME-A-25.8-San Antonio de Escazú sector Los Roques de la RAM, fue el único no evaluado, y los restantes 12 acueductos no clorados suministraron agua que no cumplió con los criterios microbiológicos (ver Cuadros 5.4 y 5.5).

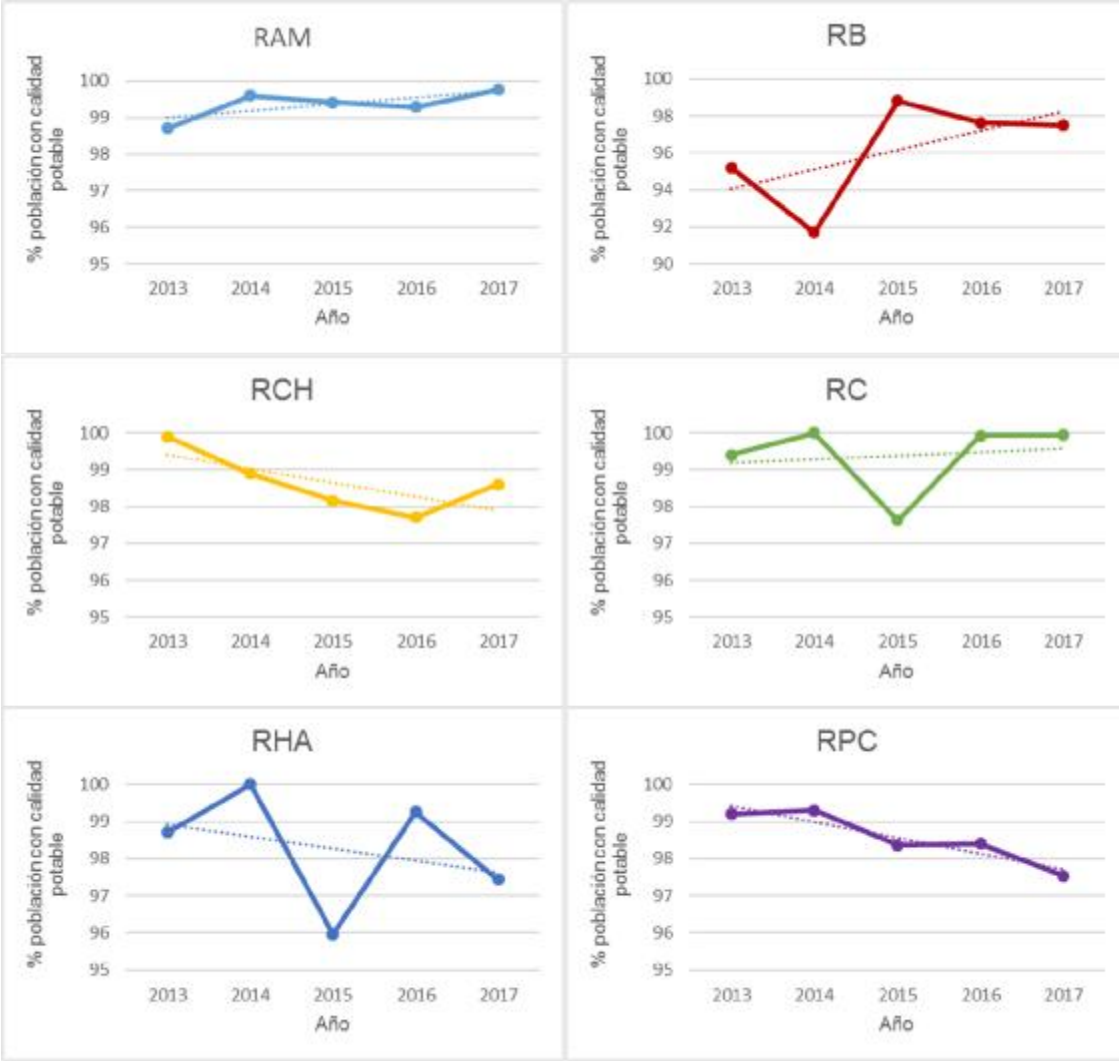

Figura 5.1. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en cada región del AyA en los últimos cinco años.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

La mayoría de los acueductos no clorados, que abastecieron comunidades en Alajuelita, Escazú y Turrubares, contaron con 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. En el caso de la RHA, las comunidades abastecidas con agua no clorada proveniente de nacientes, se ubican aguas arriba de donde se realiza la cloración; es decir, no pueden ser abastecidas por acueductos clorados, ya que el agua se suministra por gravedad y los usuarios se localizan en una zona de mayor altitud que la de los tanques de cloración. Los mismo ocurre con las comunidades en Turrubares (RC), que se encuentran 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 abastecidas por este acueducto clorado, ya que el agua se suministra por gravedad y los usuarios 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).

Los acueductos no clorados abastecieron a una población reducida (5 110 habitantes), que equivale aproximadamente al 0,2 % de la población total abastecida por AyA (Cuadro 1.1). La calidad no potable de los acueductos no clorados ha persistido a lo largo de los últimos años. Como solución inmediata, en algunas regiones se optó por suministrar agua potable por medio de camiones cisterna a los sectores de la población afectada. No obstante, la solución definitiva para suministrar agua potable a estas comunidades debe ser prioridad en la agenda 2018.

La presencia de coliformes fecales en agua clorada, indica un deficiente tratamiento de desinfección; ya sea por a una dosificación de cloro inadecuada, tiempo insuficiente de contacto entre el agua y el cloro, discontinuidad del proceso de cloración, falta de limpieza de la tubería, conexiones cruzadas y falta de continuidad del servicio. Se debe considerar que, las zonas de bajo consumo, donde el agua permanece por bastante tiempo en la tubería, son más propensas a contaminarse.

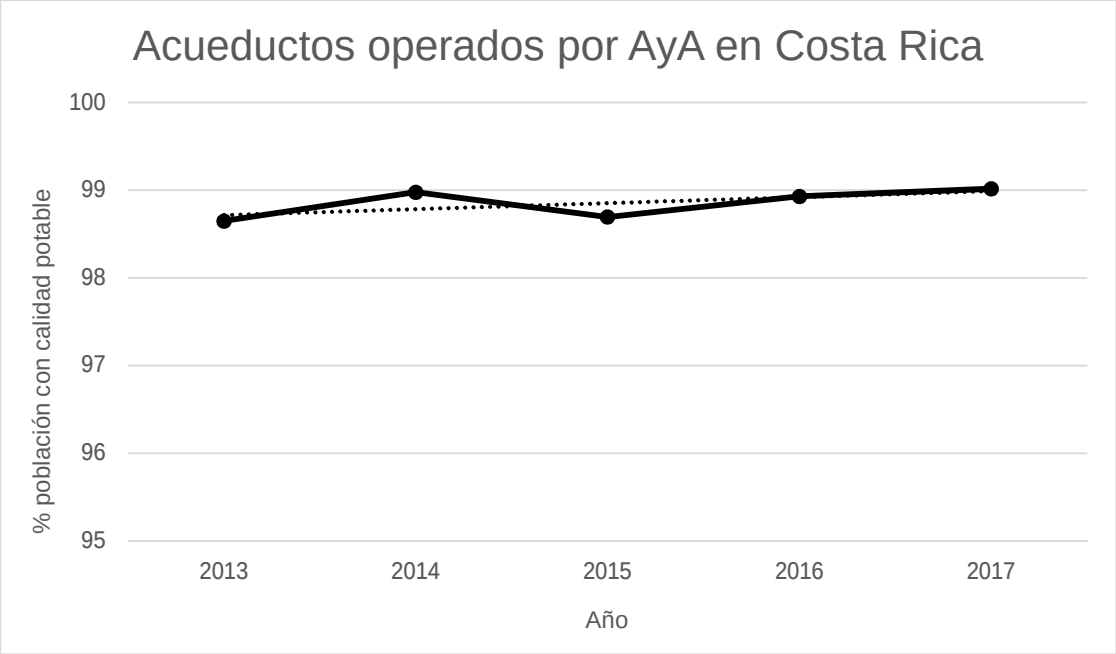

Figura 5.2. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en acueductos del AyA en los últimos cinco años.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Los resultados demuestran que 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 importancia de la correcta aplicación del cloro en el agua, cuando se compara la potabilidad (cobertura con agua de calidad potable) entre acueductos clorados y no clorados (ver Cuadros 5.4 y 5.5 y Figura 5.3).

Cuadro 5.6. Número de acueductos operados por AyA por provincia según calidad del agua de consumo en el 2017.

Provincia	Total	Potable	No Potable	Sin Evaluar	Clorados
San José	49	34	14	1	36
Alajuela	33	32	1	0	33
Cartago	7	7	0	0	7
Heredia	1	1	0	0	1
Guanacaste	54	50	4	0	54
Puntarenas	44	36	8	0	44
Limón	16	13	3	0	14
Totales	**204**	**173**	**30**	**1**	**189**

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cuadro 5.7. Calidad del agua en acueductos operados por AyA según población abastecida por provincia en el 2017.

Provincia	Total	Potable		No potable		Sin evaluar		Clorados	
	No.	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
San José	1365789	1361955	99,7	3733	0,3	101	0,01	1362407	99,7
Alajuela	207002	206936	99,97	66	0,03	0	0	207002	100
Cartago	22465	22465	100	0	0	0	0	22465	100
Heredia	29893	29893	100	0	0	0	0	29893	100
Guanacaste	208762	205797	98,6	2965	1,4	0	0	208762	100
Puntarenas	263442	253464	96,2	9978	3,8	0	0	263442	100
Limón	238599	232495	97,4	6104	2,6	0	0	236871	99,3
Totales	2335953	2313006	99,02	22846	0,9	101	0	2330843	99,8

Fuente: Áreas de Agua Potable, LNA.

Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano

De acuerdo con el IRCACH, el 94,8 % de la población abastecida recibió agua de riesgo Muy Bajo (Azul); 4,2 % de riesgo Bajo (Verde); 0,4 % de riesgo Intermedio (Amarillo), 0,4 % de riesgo Alto (Naranja), y 0,1 % de riesgo Muy Alto (Rojo). En la Figura 5.4 se observa el porcentaje de la población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua.

El riesgo asociado a la calidad del agua de los acueductos clorados y no clorados, que incumplieron con los criterios microbiológicos, fue considerado Alto (Naranja). Sin embargo, en los acueductos clorados, donde se detectó una ineficiente cloración junto con la presencia de coliformes fecales, el riesgo aumentó a Muy Alto (Rojo). Por otro lado, el riesgo Bajo (Verde) se debió principalmente a concentraciones nulas o insuficientes de cloro residual libre en las muestras recolectadas; también hubo caso de riesgo Bajo (Verde) debido a concentraciones de aluminio superiores a 400 µg/L (producto del proceso de potabilización en las plantas de tratamiento), concentraciones de calcio superiores al VMA, y concentraciones de arsénico cercanas al VMA (ver Apéndices Generales).

El riesgo asociado a la calidad de los demás acueductos clorados no potable fue: Muy Alto (Rojo), debido a altas concentraciones de aluminio y valores bajos de pH, e Intermedio (Amarillo), ya sea por altas concentraciones de hierro y manganeso, o por altos valores de calcio, dureza total y conductividad.

Parámetros físico-químicos

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. 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 67ª 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. El riesgo asociado a la calidad del agua, en ambos acueductos, fue considerado Muy Alto (Rojo).

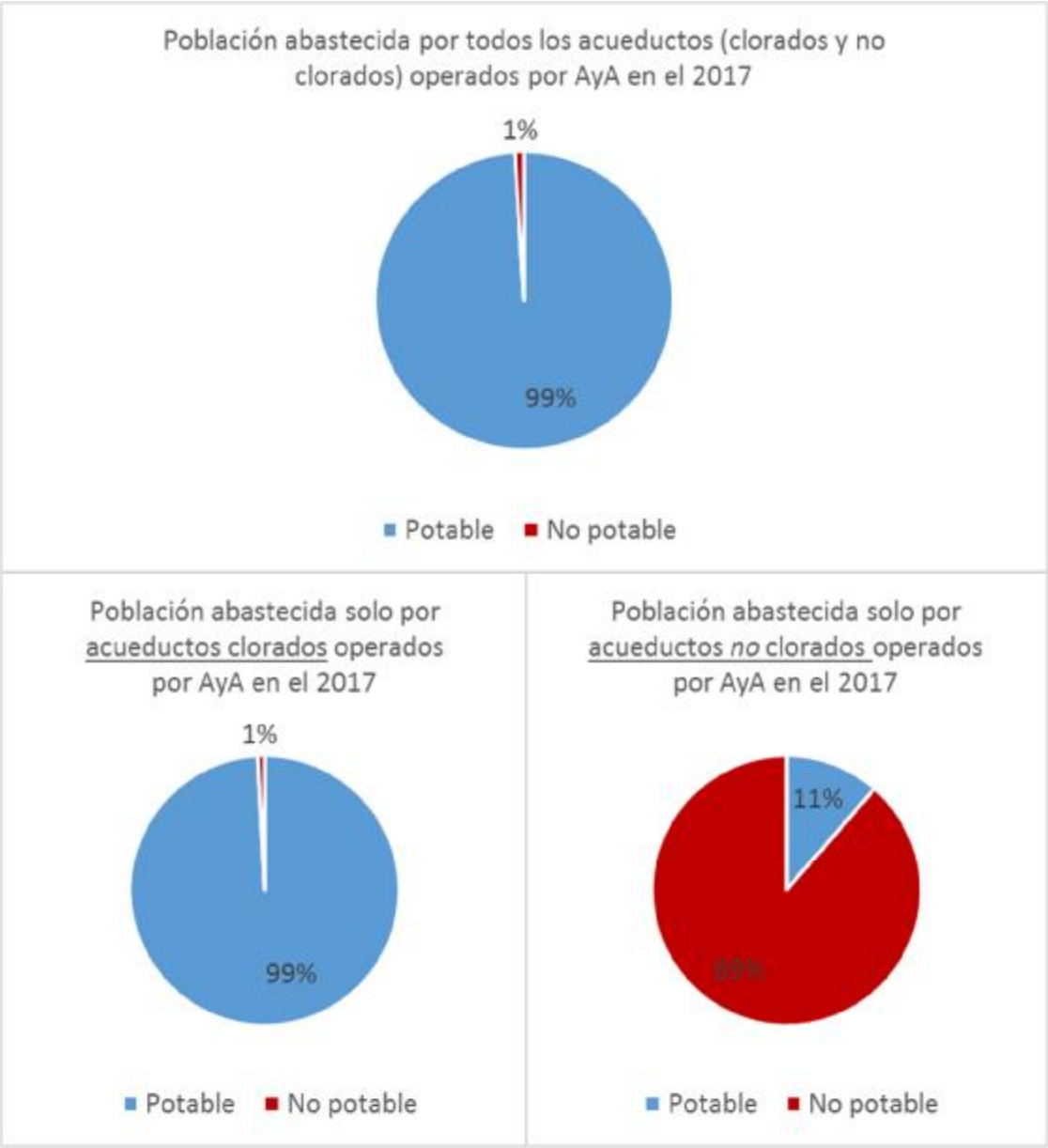

Figura 5.3. Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable y no potable de acueductos operados por AyA en el 2017*.

*Incluye solo los acueductos evaluados durante el 2017.
Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

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). Actualmente, la RPC está a cargo de la construcción de la nueva planta de remoción, la cual se encuentra en las últimas etapas (A. Lazo, UEN Investigación y Desarrollo, comunicación personal, febrero, 15, 2018).

Aunque el acueducto CO-A-08-Alto López se consideró de calidad potable, la naciente presentó concentraciones de aluminio por encima de 1 000 µg/L y aproximadamente 450 µg/L de hierro, lo cual se refleja en el punto de la red de distribución denominado “Red de la naciente”. El presente informe, calificó al acueducto como potable, ya que el otro punto de la red, cumplió con los criterios de calidad físico-químicos. De igual forma, resulta difícil determinar la proporción de la población que recibió agua únicamente de la naciente. Los reportes puntuales de los parámetros se detallan en los Apéndices Generales.

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 en varias 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 incumplimiento recurrente específicamente en el agua clorada de la planta potabilizadora de Guadalupe, aumentó el riesgo asociado a la calidad del agua, pasando de Muy Bajo (Azul) a Bajo (Verde).

La dureza total en el agua se debe a varios iones metálicos polivalentes, principalmente cationes de calcio y magnesio (OMS, 2011). Según sea la interacción con otros factores, como el pH y la alcalinidad, el agua con una dureza superior a 200 mg/L puede causar incrustaciones en las tuberías y tanques. La dureza total es la medida tradicional de la capacidad del agua para reaccionar con jabón, ya que el agua dura

requiere de más jabón para producir espuma (OMS, 2011).

Las Guías para la Calidad del Agua Potable no consideran la dureza total como de significado para la salud; sin embargo, la presencia de calcio y magnesio 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 mg/L y 300 mg/L, dependiendo del anión asociado; no obstante, no es de significado para la salud (OMS, 2013).

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica, y es la inversa de la resistividad de la solución. La capacidad para transmitir una corriente eléctrica en agua depende de la presencia de iones, de su concentración, movilidad, valencia, de la temperatura ambiental, y de los sólidos disueltos totales. Concentraciones elevadas de calcio, aumentan la conductividad eléctrica en el agua.

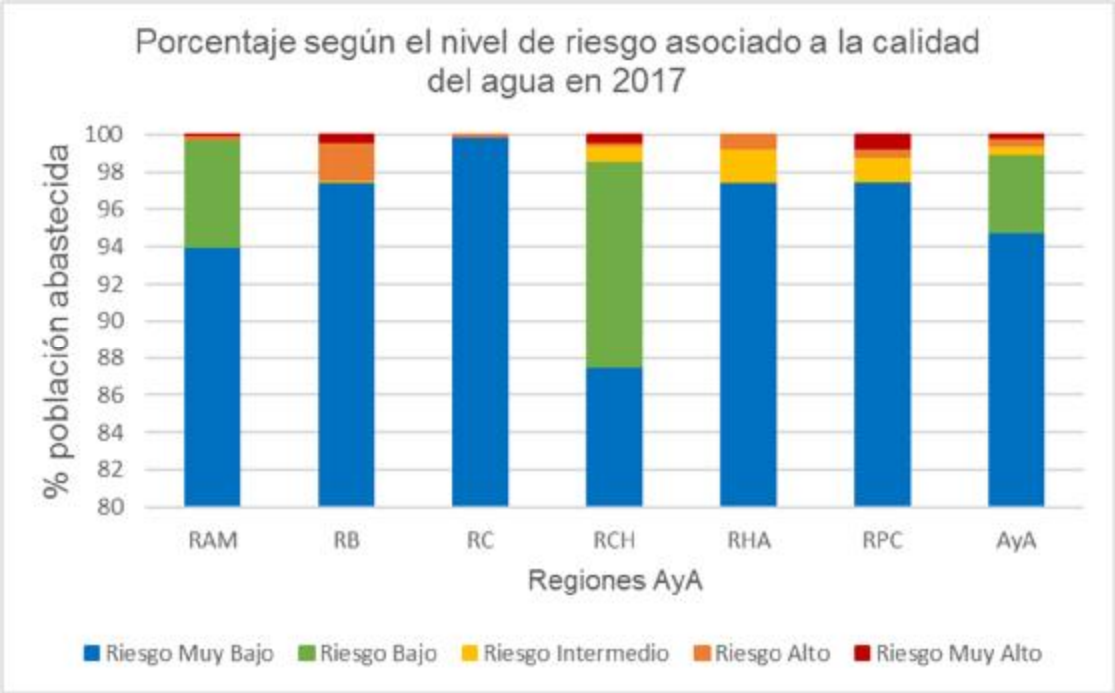

Figura 5.4. Porcentajes de población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua en el 2017.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

La base de datos del LNA registra valores de conductividad eléctrica desde el 2008 hasta la fecha; dichos valores indican que prácticamente la totalidad del agua utilizada para abastecer los acueductos de Costa Rica, presentan conductividades menores a 1000 µS/cm. El equipo técnico interdisciplinario del LNA, que realizó el IRCACH, determinó que es posible cumplir con el reglamento vigente, aun cuando la conductividad tenga valores cercanos a 1000 µS/cm (Laboratorio Nacional de Aguas, 2017).

Los acueductos que abastecieron a las comunidades de Barbudal de Colorado de Abangares y Bolsón de Santa Cruz, suministraron agua no potable, debido a la presencia de altas concentraciones de calcio, que a la vez aumentó los niveles de dureza total y conductividad eléctrica. En ambos casos, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Intermedio (Amarillo).

El acueducto CH-A-Mansión-Barra Honda-Pueblo Viejo presentó concentraciones de calcio superiores al VMA, pero que no presentó valores de dureza total superiores al VMA, ni valores conductividad eléctrica cercanos a 1000 µS/cm. Por lo tanto, el acueducto fue considerado de calidad potable, y el riesgo asociado a la calidad del agua fue Bajo (Verde).

El acueducto que abasteció a la comunidad de Santa Teresa de Cóbano, no sólo presentó contaminación microbiana, sino también conductividades eléctricas de aproximadamente 700 µS/cm, y concentraciones de sodio y potasio superiores a sus respectivos VMA; aunado a concentraciones de cloro residual libre inferiores a al valor mínimo establecido (0,3 mg/L). Por ende, el riesgo asociado a la calidad del agua de este acueducto fue Muy Alto (Rojo).

El hierro y manganeso 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 0,3 mg/L, el agua puede teñir y dañar tuberías y la ropa cuando se lava.

Aunque las guías de la OMS establecen un valor de referencia para la salud de 0,4 mg/L de manganeso, sus efectos adversos no están totalmente claros, y los estudios no han llegado a conclusiones contundentes, con respecto al efecto negativo del manganeso al ser ingerido en el agua. Sin embargo, la presencia de manganeso en el agua puede causar acumulación de sedimentos en la red de distribución. Inclusive, concentraciones superiores a 0,05 mg/L pueden generar una coloración negra o café, causar un sabor desagradable, y causar manchas en la ropa y loza de baños y lavatorios (EPA, 2017).

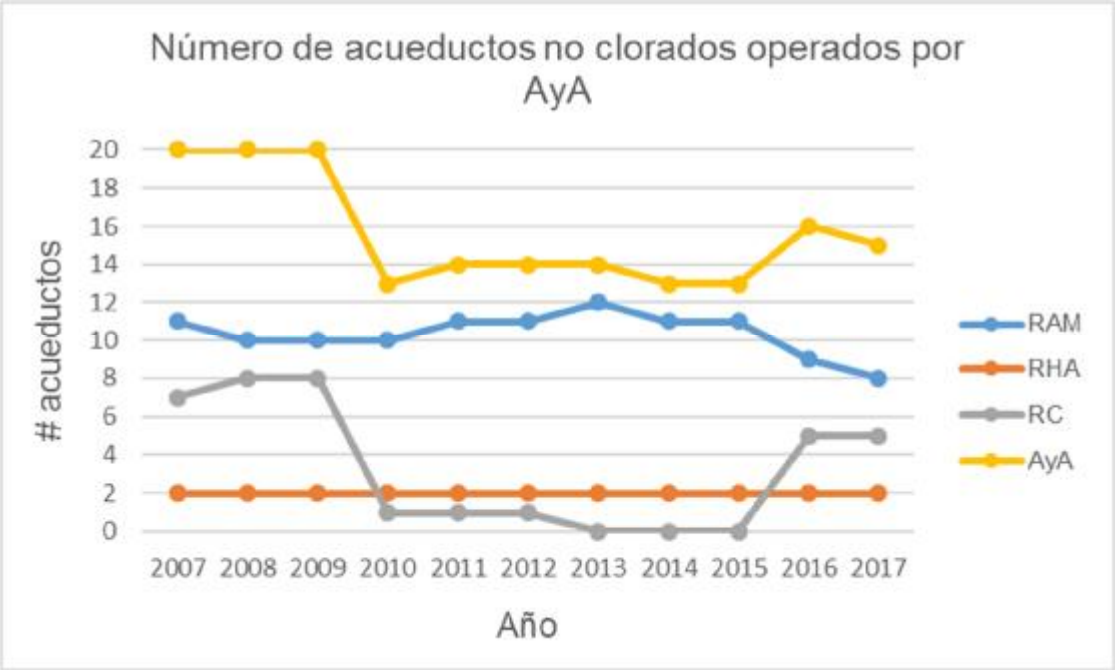

Figura 5.5. Número de acueductos no clorados operados por AyA en los últimos once años.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Los acueductos que abastecieron a las comunidades de Esterillos de Parrita y Coto 44 en Corredores, suministraron agua de calidad no potable, debido a las elevadas concentraciones de hierro y manganeso, aunado a concentraciones de cloro residual libre inferiores a al valor mínimo establecido (0,3 mg/L) o a elevados niveles en el parámetro de color. La planta de Hone Creek y Puerto Viejo, abastecida por el pozo 1 de Sand Box, fue eficiente removiendo el hierro del agua, pero no el manganeso; puesto que los puntos de muestreo del agua tratada presentaron concentraciones de manganeso superiores a 500 µg/L. El riesgo asociado a la calidad del agua de estos acueductos fue considerado Intermedio (Amarillo), debido al cambio en las propiedades organolépticas del agua, que genera rechazo de la misma por los consumidores.

Adicionalmente, el agua suministrada por este acueducto presentó niveles de amonio por encima del VMA. El origen del amonio en agua es un indicador de posible contaminación bacteriana por vertidos de aguas residuales domésticas, descomposición de materia orgánica, excesivo uso de fertilizantes o por procesos industriales. Las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) no consideran necesario establecer un valor de referencia, ya que el amonio/amoniaco no ocasiona ningún daño a la salud en agua con valores de pH entre 6,5 y 9,5 (Takó, 2010), y por lo general, el amonio en el agua de consumo se encuentra en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos (OMS, 2011). Sin embargo, el amonio puede interferir en la eficiencia del proceso de cloración; además puede oxidarse formando nitritos, compuestos considerados tóxicos para la salud, debido a que producen metahemoglobinemia o síndrome del recién nacido cianótico (OMS, 2011; Takó, 2010).

El AyA contrató el diseño, construcción, puesta en marcha, operación y trasferencia tecnológica de una planta para la remoción de hierro y manganeso en el agua proveniente de los pozos 2 y 3 de Sand Box, que abastecerán el Sistema Integrado de Agua Potable para Limón Sur. Durante el segundo semestre del 2017 y enero de 2018, la UEN de Administración de Proyectos supervisó la Fase I de dicha contratación: diseño y desarrollo de una planta piloto. Actualmente, se encuentra pronta a iniciar la Fase II: Construcción. Esta nueva planta pretende suministrar agua de calidad potable a 14 comunidades localizadas entre la zona entre Bribri y Sixaola, y entre Puerto Viejo y Manzanillo. Sin embargo, esta planta no vendrá a sustituir a la planta de Hone Creek-Puerto Viejo, la cual seguirá en operación (J. Bolaños, UEN Administración de Proyectos, comunicación personal, febrero, 16, 2018).

Aunque el acueducto PC-A-06-Palmares-Zaragoza se consideró de calidad potable, el Pozo Y Griega 1 presentó concentraciones de hierro por encima de 1 000 µg/L, lo cual se refleja en el punto de la red de distribución denominado “La Y Griega”. El presente informe, calificó al acueducto como potable, debido a que el resto de sus fuentes de abastecimiento tratadas y los demás puntos de la red, cumplieron los criterios de calidad físico-químicos. Igualmente, resulta difícil determinar la proporción de la población que recibió agua únicamente del Pozo Y Griega 1. Los reportes puntuales de los parámetros se detallan en los Apéndices Generales.

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

Los acueductos que abastecen a las comunidades de Bebedero de Cañas y Quintas don Miguel de Bagaces presentaron concentraciones de arsénico cercanas al VMA, pero no superiores. Por lo tanto, fueron considerados de calidad potable y el riesgo asociado a la calidad del agua fue Bajo (Verde).

6. CONCLUSIONES GENERALES

- En el 2017, un 99,0 % de la población abastecida por acueductos operados por AyA (2 313 006 habitantes), recibió agua de calidad potable; lo que equivale al 46,8 % de la población del país.

- El porcentaje de población abastecida con agua de calidad potable proveniente de acueductos operados por AyA, aumentó 0,1 % con respecto al 2016; el porcentaje de potabilidad del agua ha venido incrementándose en los últimos seis años.

- La región que presentó la mayor cobertura con agua potable fue la RC, con 99,0 %; mientras que la RHA presentó la menor cobertura, con 97,4 %.

- La provincia con mayor número de personas abastecidas por acueductos operados por AyA, para el 2017, fue San José con 1 365 789 habitantes; mientras que Cartago y Heredia fueron las provincias donde menor cantidad de habitantes se abastecieron mediante acueductos operados por AyA, siendo 22 465 y 29 893 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 96,2 %.

- La calidad no potable de los acueductos se debió principalmente al incumplimiento de los criterios microbiológicos.

- Las zonas vulnerables a la contaminación microbiológica, donde se detectó la presencia de coliformes fecales, fueron: Matinilla de Santa Ana, Alajuelita, Escazú (RAM); Barrio Los Ángeles de Pococí y Las Delicias de Pocora (RHA); Polvazales de Mansión de Nicoya (RCH); Tinamaste y Alfombra de Barú, Palmar Sur de Osa y Abrojo de Ciudad Neily (RB); Juan de Dios Vásquez de Palmares, El Llano de San Miguel de Barrance y Santa Teresa de Cóbano (RPC); y el cantón de Turrubares (RC).

- Aproximadamente un 1 % de la población abastecida por acueductos clorados recibieron agua no potable; mientras que, en el caso de los acueductos no clorados fue un 89 %.

- La no potabilidad de los acueductos no clorados se debió exclusivamente al incumplimiento de los criterios microbiológicos; mientras que la de los acueductos clorados se debió al incumplimiento, tanto de criterios microbiológicos, como físico-químicos.

- De los 15 acueductos no clorados, solo dos suministraron agua de calidad potable, uno no fue evaluado y el resto, suministraron agua de calidad no potable.

- La calidad no potable de los acueductos no clorados ha persistido a lo largo de los últimos años; no obstante, el número de acueductos no clorados se ha reducido.

- 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 coliformes fecales.

- 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, no cumplieron.

- La falta de un tratamiento de potabilización 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.

- Según el IRCACH, el 94,8 % de la población abastecida recibió agua de riesgo Muy Bajo (Azul); 4,2 % de riesgo Bajo (Verde); 0,4 % de riesgo Intermedio (Amarillo), 0,4 % de riesgo Alto (Naranja), y 0,1 % de riesgo Muy Alto (Rojo).

- El riesgo Bajo (Verde) se debió principalmente a concentraciones nulas o insuficientes de cloro residual libre en las muestras recolectadas; seguido de concentraciones de aluminio superiores a 400 µg/L (producto del proceso de potabilización en las plantas de tratamiento), concentraciones de calcio superiores al VMA, y concentraciones de arsénico cercanas al VMA.

- El riesgo asociado a la calidad del agua de los acueductos clorados y no clorados, que incumplieron con los criterios microbiológicos, fue considerado Alto (Naranja);

sin embargo, en los acueductos clorados, donde se detectó además una ineficiente cloración, el riesgo aumentó a Muy Alto (Rojo).

- 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 riesgo asociado a la calidad del agua, en ambos casos fue considerado Muy Alto (Rojo).

- El incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada en varias 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).

- Aunque el acueducto CO-A-08-Alto López se consideró de calidad potable, la naciente presentó concentraciones de aluminio por encima de 1 000 µg/L y aproximadamente 450 µg/L de hierro, lo cual se refleja en el punto de la red de distribución denominado “Red de la naciente”.

- Los acueductos que abastecieron a las comunidades de Barbudal de Colorado de Abangares y Bolsón de Santa Cruz, suministraron agua no potable, debido a la presencia de altas concentraciones de calcio, que a la vez aumentó los niveles de dureza total y conductividad eléctrica. En ambos casos, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado Intermedio (Amarillo).

- El acueducto que abasteció a la comunidad de Santa Teresa de Cóbano, además de incumplir con los criterios microbiológicos, presentó conductividades eléctricas de aproximadamente 700 µS/cm, y concentraciones de sodio y potasio superiores a sus respectivos VMA; aunado a concentraciones de cloro residual libre inferiores a al valor mínimo establecido (0,3 mg/L). El riesgo asociado a la calidad del agua de este acueducto fue Muy Alto (Rojo).

- Los acueductos que abastecieron a las comunidades de Esterillos de Parrita y Coto 44 en Corredores, suministraron agua de calidad no potable, debido a las elevadas concentraciones de hierro y manganeso, aunado a concentraciones de cloro residual libre inferiores a al valor mínimo establecido (0,3 mg/L) o a elevados niveles en el parámetro de color.

- La planta, abastecida por el pozo 1 de Sand Box, fue eficiente removiendo el hierro del agua, pero no el manganeso; puesto que los puntos de muestreo del agua tratada presentaron concentraciones de manganeso superiores a 500 µg/L. El riesgo asociado a la calidad del agua de estos acueductos fue considerado Intermedio (Amarillo), debido al cambio en las propiedades organolépticas del agua, que genera rechazo de la misma por los consumidores.

- La planta de Hone Creek y Puerto Viejo no fue eficiente en el proceso de remoción de manganeso; ya que los puntos de muestreo del agua tratada presentaron concentraciones de manganeso superiores a 500 µg/L.

- Aunque el acueducto PC-A-06-Palmares-Zaragoza se consideró de calidad potable, el Pozo Y Griega 1 presentó concentraciones de hierro por encima de 1 000 µg/L.

7. RECOMENDACIONES GENERALES

- Mantener un residual de cloro de (0,3 a 0,7) mg/L y un proceso de desinfección continuo y eficiente en los sistemas de abastecimiento, especialmente en los que se detectó la presencia de coliformes fecales o un residual bajo de cloro libre.

- Realizar inspecciones sanitarias de las estructuras de los acueductos donde se detectó la presencia de coliformes fecales, y verificar el proceso de desinfección; con el fin de identificar las causas de la contaminación y deficiencias en el proceso.

- Abastecer a los usuarios, que recibieron agua sin desinfección, con agua clorada potable proveniente de otros sistemas de abastecimiento; o bien, buscar nuevas fuentes de abastecimiento de un caudal suficiente para abastecer la demanda, que permitan una producción continua de agua de calidad potable.

- Evaluar la factibilidad de implementar un tratamiento de potabilización convencional al agua proveniente de fuentes superficiales no cloradas, de los cantones de Alajuelita, Escazú y Turrubares; y en las nacientes no cloradas de la RHA y la RC, la aplicación de un sistema de desinfección continua del agua.

- Llevar a cabo la puesta en marcha del sistema de remoción de aluminio y acondicionamiento de pH en el acueducto PC-A-21-Zagal-Villa Bruselas-Cebadilla, a cargo de la RPC. Además, otorgar los recursos necesarios para la operación y mantenimiento, que garanticen la sostenibilidad del tratamiento a lo largo del tiempo.

- Optimizar la oxidación del manganeso en el proceso de remoción de la planta de Hone Creek-Puerto Viejo; o bien, contemplar la posibilidad de diluir el agua con la de otras fuentes de abastecimiento bajas en hierro y manganeso.

- 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 (principalmente en la de Guadalupe), para evitar el incumplimiento de la concentración de aluminio en el agua clorada de la red de distribución y el gasto innecesario del floculante.

- 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.

- Aplicar el Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química de AyA para los acueductos que presentaron problemas por incumplimientos de parámetros físico-químicos (específicamente de los metales hierro, manganeso, aluminio y calcio), donde aún no se han tomado las medidas correctivas necesarias.

- Evaluar la posibilidad de suministrar agua potable a la población, actualmente abastecida por el acueducto CO-A-08-Alto López de la RC, mediante otros acueductos de la región; o bien, mediante nuevas fuentes de abastecimiento.

- Sacar de operación el Pozo Y Griega 1 del acueducto PC-A-06-Palmares-Zaragoza de la RPC; o bien, diluir el agua del pozo con la del resto de las fuentes que cumplen los criterios de calidad físico-químicos, con el fin de bajar las concentraciones de hierro.
- Buscar nuevas fuentes de abastecimiento de un caudal suficiente para abastecer la demanda de agua potable en la comunidad de Santa Teresa de Cóbano, y así remplazar las fuentes que presentaron altas concentraciones de sales diluidas.

- Verificar que los muestreos de cada acueducto se realicen a lo largo del año, incluyendo temporada lluviosa y seca.

8. 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.

Decreto Ejecutivo N°26066-S. (9 de junio de 1997). Designa Laboratorio Central de AyA como Laboratorio Nacional de Aguas. *(N°109)*. La Uruca, San José, Costa Rica: 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

EPA. (8 de marzo de 2017). *United States Environmental Protection Agency*. Recuperado el 31 de enero de 2018, de Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance: 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.

IARC. (2006). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans.* Lyon, Francia: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. Organización Munidal de la Salud (OMS). Obtenido de http://monographs.iarc.fr/ENG/Preamble/CurrentPreamble.pdf

INEC. (Julio de 2017). *Encuesta Nacional de Hogares (ENAHO)*. Recuperado el 1 de Abril de 2016, de http://www.inec.go.cr/vivienda

Laboratorio Nacional de Aguas. (2017). *Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano.* Tres Ríos, Cartago: LNA, AyA.

Ley N°276. (27 de Agosto de 1942). Ley de Aguas. La Uruca, San José, Costa Rica: 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.

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.

Takó, S. (2010). Ammonium removal from drinking-water - comparison of the breakingpoint chlorination and the biological technology. *Conference of Junior Researchers in Civil Engineering*. Hungría: BME Department of Sanitary and Environmental Engineering. Obtenido de Project ID: TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002

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

9. APÉNDICES

Cuadro 9.1. Calidad de los subsistemas del Acueducto Metropolitano de la RAM durante el 2017.

Subsistema	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
ME-A-01-TRES RÍOS	522296	Potable	Azul	
ME-A-02-GUADALUPE	71006	Potable	Azul	
ME-A-04-LOS SITIOS	130654	Potable	Azul	
ME-A-06.1-SAN JUAN DE DIOS	33971	Potable	Azul	
ME-A-06.2-URBANIZACIÓN VERACRUZ DE HIGUITO DE SAN MIGUEL	1335	Potable	Azul	
ME-A-08-LOS CUADROS	21548	Potable	Azul	
ME-A-09.1-ALAJUELITA	9607	Potable	Azul	
ME-A-10-MATA DE PLÁTANO	1851	Potable	Azul	
ME-A-13-SAN JERÓNIMO	3546	Potable	Azul	
ME-A-16.1-POTRERILLOS-SAN ANTONIO	31222	Potable	Azul	
ME-A-16.2-BRASIL DE MORA: SECTOR ABASTECIDO POR EL TANQUE RETANA	116	Potable	Verde	Cloro residual libre bajo
ME-A-16.3-BRASIL DE MORA: SECTOR ABASTECIDO POR EL TANQUE RODRÍGUEZ	73	Potable	Verde	Cloro residual libre bajo
ME-A-16.4-BRASIL DE MORA: SECTOR ABASTECIDO POR EL TANQUE TRINIDAD	182	Potable	Azul	
ME-A-17-LA VALENCIA	238674	Potable	Azul	
ME-A-19.1-PUENTE DE MULAS	114782	Potable	Azul	
ME-A-19.2-BELLA VISTA Y EL TRIUNFO DE SANTA ANA	690	Potable	Azul	
ME-A-20-PADRE CARAZO	1510	Potable	Azul	
ME-A-22-PIZOTE (SAN PEDRO)	6203	Potable	Azul	

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cuadro 9.2. Calidad de los acueductos periféricos de la RAM durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
ME-A-03.1-EL LLANO: SECTOR PLANTA DE TRATAMIENTO	2531	Potable	Azul	
ME-A-03.2-EL LLANO: SECTOR NACIENTE LA CASCABELA (NO CLORADO	289	Potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorado
ME-A-05.1-SANTA ANA: SECTOR ABASTECIDO POR LA PLANTA DE SALI	18770	Potable	Azul	
ME-A-05.2-CHIRRACAL	145	Potable	Verde	Cloro residual libre bajo
ME-A-07.1-SAN ANTONIO DE ESCAZÚ	8967	Potable	Azul	
ME-A-09.2-LINDA VISTA DE SAN JOSECITO (NO CLORADO)	448	Potable	Verde	No clorado
ME-A-11-GUATUSO DE PATARRÁ	3808	Potable	Azul	
ME-A-12-SAN BOSCO DE CIUDAD COLON	2264	Potable	Azul	
ME-A-14-SAN RAFAEL Y SAN PEDRO DE CORONADO: PL. TRATAMIENTO	11525	Potable	Azul	
ME-A-15-SAN PABLO DE HEREDIA	29893	Potable	Azul	
ME-A-18-LÁMPARAS DE SAN ANTONIO DE ALAJUELITA	990	Potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorado
ME-A-21-CHIVERRALES	1479	Potable	Azul	
ME-A-23-BARRIO ESPAÑA	630	Potable	Azul	
ME-A-24.1-CANGREJAL DE MATINILLA	104	No potable	Naranja	Coliformes fecales
ME-A-24.2-EL BERRAL DE MATINILLA	174	No potable	Naranja	Coliformes fecales
ME-A-25.1-BEBEDERO DE ESCAZÚ: SECTOR POZO BEBEDERO	209	Potable	Azul	
ME-A-25.2-CUESTA CALDERONES DE ESCAZÚ	42	No potable	Rojo	Coliformes fecales y cloro residual libre bajo
ME-A-25.3-BEBEDERO DE ESCAZÚ: SECTOR NO CLORADO	121	Potable	Verde	No clorado
ME-A-25.4-CALLE EL ALTO DE ESCAZÚ (NO CLORADO)	104	Potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorado
ME-A-25.5-CALLE HIGUERONES DE ESCAZÚ (NO CLORADO)	413	Potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorado
ME-A-25.6-ESCAZÚ: SISTEMA LA MINA (NO CLORADO)	825	Potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorado
ME-A-25.8-SAN ANTONIO DE ESCAZÚ: SECTOR LOS ROQUES	101	Sin Evaluar	Sin Evaluar	
ME-A-26-QUEBRADA HONDA DE CIUDAD COLÓN	2728	Potable	Verde	Cloro residual libre bajo
ME-A-27.1-MEZCLA DE FUENTES EL GUARCO	4798	Potable	Azul	
ME-A-27.2-BARRANCAS-TABLÓN DE TEJAR	2303	Potable	Azul	
ME-A-27.3-MEZCLA DE POZOS SILOS 1, 2 Y 3 DE TEJAR	3713	Potable	Azul	
ME-A-27.4-PLANTA POTABILIZADORA HACIENDA VIEJA DE TEJAR	2228	Potable	Azul	
ME-A-27.5-PLANTA POTABILIZADORA HIGUITO DEL TEJAR	4897	Potable	Azul	
ME-A-27.6-PLANTA POTABILIZADORA LAS CATALINAS DE TEJAR	3429	Potable	Azul	

Cuadro 9.2. Calidad de los acueductos periféricos de la RAM durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
ME-A-27.8-POZO VILLA FORESTA DE TEJAR	1097	Potable	Azul	
ME-A-28-VISTA DE MAR	2185	Potable	Azul	
ME-A-29-SAN ANTONIO DE ESCAZÚ: SECTOR NACIENTE LAJAS	2145	Potable	Azul	

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cuadro 9.3. Calidad de los acueductos de la RHA durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
HA-A-01-ACUEDUCTO INTEGRADO HONE CREEK - PUERTO VIEJO	4376	No potable	Amarillo	Amonio y manganeso
HA-A-02-CAHUITA	1076	Potable	Azul	
HA-A-03-LIMÓN	65331	Potable	Azul	
HA-A-04-LA BOMBA	1126	Potable	Azul	
HA-A-05-LA GUARIA DEL VALLE DE LA ESTRELLA	2241	Potable	Azul	
HA-A-06-ESTRADA-MATINA	4290	Potable	Azul	
HA-A-07-LUZÓN-SANTA MARTA	1918	Potable	Azul	
HA-A-08-BATÁN-VEINTIOCHO MILLAS	11128	Potable	Azul	
HA-A-09-SIQUIRRES	24595	Potable	Azul	
HA-A-10-MADRE DE DIOS	756	Potable	Azul	
HA-A-11.1-POCORA	5607	Potable	Azul	
HA-A-11.2-LAS DELICIAS DE POCORA	28	No potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorados
HA-A-12-GUÁCIMO-RÍO JIMÉNEZ	26156	Potable	Azul	
HA-A-13-CARIARI - ANITA GRANDE	25717	Potable	Azul	
HA-A-14.1-GUÁPILES- LA RITA -ROXANA-SAN ANTONIO	62555	Potable	Azul	
HA-A-14.2-Bº LOS ÁNGELES	1700	No potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorados

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cuadro 9.4. Calidad de los acueductos de la RCH durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
CH-A-01-SANTA CRUZ	13616	Potable	Azul	Calcio, dureza total y conductividad eléctrica
CH-A-02-CACAO DE SANTA CRUZ	1142	Potable	Azul	
CH-A-03-LAGUNILLA	2409	Potable	Azul	
CH-A-04-CARTAGENA	3495	Potable	Azul	
CH-A-05-BOLSÓN-ORTEGA	1538	No potable	Amarillo	
CH-A-06-SANTA BÁRBARA	2505	Potable	Azul	
CH-A-07-PORTEGOLPE	1188	Potable	Azul	
CH-A-08-VEINTISIETE DE ABRIL	1686	Potable	Azul	
CH-A-09-TEMPATE	545	Potable	Azul	
CH-A-10-TAMARINDO (SISTEMA BECO ANTIGUO)	1148	Potable	Azul	
CH-A-11-FLAMINGO	894	Potable	Azul	
CH-A-12-NICOYA	20061	Potable	Azul	
CH-A-13-MANSION-BARRA HONDA-PUEBLO VIEJO	2369	Potable	Verde	Calcio
CH-A-14-ACUEDUCTO INTEGRADO MATAMBÚ-LOS ÁNGELES-CERRILLOS-HO	4010	Potable	Azul	
CH-A-15-VIGIA-PUERTO JESUS	558	Potable	Azul	
CH-A-16-SAN ANTONIO	482	Potable	Azul	
CH-A-17-POLVAZALES	393	No potable	Naranja	Coliformes fecales
CH-A-18-JICARAL	2874	Potable	Azul	
CH-A-19-ACUEDUCTO INTEGRADO CUESTA GRANDE-MAQUENCO-TERCIOPEL	568	Potable	Azul	
CH-A-20-SAN JOAQUÍN DE NICOYA: SECTOR LOS MANGOS 1	601	Potable	Azul	
CH-A-21-SAN JOAQUÍN DE NICOYA: SECTOR LOS MANGOS 2	432	Potable	Azul	
CH-A-22.1-TILARAN	7161	Potable	Azul	
CH-A-22.2-BUENOS AIRES	1706	Potable	Azul	
CH-A-23-LOS ÁNGELES	1092	Potable	Azul	

Cuadro 9.4. Calidad de los acueductos de la RCH durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
CH-A-24-LÍBANO	366	Potable	Azul	
CH-A-25-TIERRAS MORENAS	571	Potable	Azul	
CH-A-26-CAÑAS	18454	Potable	Verde	Cloro residual libre bajo
CH-A-27-VERGEL DE CAÑAS	201	Potable	Azul	
CH-A-28-COLORADO, RAIZAL E HIGUERILLA	1858	Potable	Azul	
CH-A-29-BARBUDAL DE COLORADO	201	No potable	Amarillo	Calcio, dureza total y conductividad eléctrica
CH-A-30-BEBEDERO DE CAÑAS	2020	Potable	Verde	Poner atención a niveles de arsénico cercanos al límite
CH-A-31-FILADELFIA	4462	Potable	Azul	
CH-A-32-RÍO CAÑAS	749	Potable	Azul	
CH-A-33-PALMIRA	1894	Potable	Azul	
CH-A-34-GUARDIA-COMUNIDAD	1709	Potable	Azul	
CH-A-35-BELÉN-SANTA ANA	5425	Potable	Azul	
CH-A-36-PAPAGAYO ALEGRO	46	Potable	Azul	
CH-A-37-PAPAGAYO: SECTOR FOUR SEASONS	99	Potable	Azul	
CH-A-38-PAPAGAYO SUR: HERMOSA - CACIQUE	749	Potable	Azul	
CH-A-39-EL COCO	9946	Potable	Azul	
CH-A-40-SARDINAL	4788	Potable	Azul	
CH-A-41-LA CRUZ	7847	Potable	Azul	
CH-A-42-PEÑAS BLANCAS	378	Potable	Azul	
CH-A-43-BAGACES	7874	Potable	Azul	
CH-A-44-SALITRAL DE BAGACES	175	Potable	Azul	
CH-A-45-MONTENEGRO Y AGUA CALIENTE DE BAGACES	1594	Potable	Azul	
CH-A-46-FALCONIANA DE BAGACES	254	Potable	Azul	
CH-A-47-QUINTAS DON MIGUEL DE BAGACES	502	Potable	Verde	Poner atención a niveles de arsénico cercanos al límite

Cuadro 9.4. Calidad de los acueductos de la RCH durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
CH-A-50-LIBERIA	59777	Potable	Azul	
CH-A-51-EL GALLO DE CURUBANDÉ	1956	Potable	Azul	
CH-A-52-TERREROS	452	Potable	Azul	
CH-A-53-RODEITO	368	Potable	Azul	
CH-A-54-CAÑAS DULCES	2583	Potable	Azul	
CH-A-55-QUEBRADA GRANDE	1033	Potable	Azul	
CH-A-56-CURUBANDÉ DE LIBERIA	833	No potable	Rojo	Aluminio y pH bajo

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cuadro 9.5. Calidad de los acueductos de la RC durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
CO-A-01.1-PASITO	83237	Potable	Azul	
CO-A-01.2-URBANIZACIÓN LA LUCHA	707	Potable	Azul	
CO-A-01.3-URBANIZACIÓN METATES DE SAN ANTONIO	490	Potable	Azul	
CO-A-01.4-URBANIZACIÓN MONTERROCOSO	1127	Potable	Azul	
CO-A-01.5-URBANIZACIÓN VILLA VERANO DE EL COYOL DE ALAJUELA	175	Potable	Azul	
CO-A-02-AEROPUERTO	329	Potable	Azul	
CO-A-03-LA GUÁCIMA	10160	Potable	Azul	
CO-A-04-CIUDAD HACIENDA LOS REYES	1211	Potable	Azul	
CO-A-05-ATENAS	11526	Potable	Azul	
CO-A-06-SANTA EULALIA - ALTO LÓPEZ	3070	Potable	Azul	
CO-A-07.1-RIO GRANDE (SECTOR NACIENTE LULA)	986	Potable	Azul	
CO-A-07.2-RÍO GRANDE (SECTOR NAC. HERMÓGENES CASTILLO)	680	Potable	Azul	
CO-A-08-ALTO LÓPEZ	34	Potable	Azul	
CO-A-09-BARRIO JESÚS	41	Potable	Azul	
CO-A-10-BARROETA	85	Potable	Azul	

Cuadro 9.5. Calidad de los acueductos de la RC durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
CO-A-11-LAS CUMBRES (ÁNGELES, ATENAS)	37	Potable	Azul	
CO-A-12-LOS CHILES	3700	Potable	Azul	
CO-A-13-SAN JERÓNIMO DE LOS CHILES DE ALAJUELA	546	Potable	Azul	
CO-A-14-CRISTO REY DE LOS CHILES	424	Potable	Azul	
CO-A-15-SANTA CECILIA DE AMPARO DE LOS CHILES	1081	Potable	Azul	
CO-A-16-LAS TABLILLAS DE LOS CHILES	189	Potable	Azul	
CO-A-17-SANTIAGO	13488	Potable	Azul	
CO-A-18-MERCEDES DE PURISCAL	366	Potable	Azul	
CO-A-19-ALTO LA LEGUA DE PURISCAL	409	Potable	Azul	
CO-A-20-LA FILA (CORROGRES)	2138	Potable	Azul	
CO-A-21-BARBACOAS	1980	Potable	Azul	
CO-A-22-SAN ANTONIO DE PURISCAL	3924	Potable	Azul	
CO-A-23-PIEDADES DE PURISCAL	924	Potable	Azul	
CO-A-24-LA GLORIA	360	Potable	Azul	
CO-A-25-SAN GABRIEL DE CARARA (TURRUBARES)	152	Potable	Azul	
CO-A-26-SAN PEDRO Y SAN PABLO DE TURRUBARES	2617	Potable	Azul	
CO-A-27-PURIRES ARRIBA (NO CLORADO)	36	No potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorado
CO-A-28-PURIRES ABAJO (NO CLORADO)	16	No potable	Naranja	Coliformes fecales, no clorado y turbiedad
CO-A-29-CALLE PÉREZ (NO CLORADO)	24	No potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorado
CO-A-30-CAMARÓN (NO CLORADO)	7	No potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorado
CO-A-31-QUEBRADA LA PLATA (NO CLORADO)	10	No potable	Naranja	Coliformes fecales y no clorado
CO-A-32-LOS QUIRÓS	17	Potable	Azul	
CO-A-33-SAN IGNACIO DE ACOSTA	4033	Potable	Azul	

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cuadro 9.6. Calidad de los acueductos de la RB durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
BR-A-01.1-SAN ISIDRO	77763	Potable	Azul	
BR-A-01.2-QUEBRADAS	1218	Potable	Azul	
BR-A-02-PEÑAS BLANCAS	2118	Potable	Azul	
BR-A-03-SAN RAFAEL DE PLATANARES	739	Potable	Azul	
BR-A-04-TINAMASTE-ALFOMBRA	700	No potable	Naranja	Coliformes fecales
BR-A-05-PLATANILLO	980	Potable	Azul	
BR-A-06-PEJIBAYE	1512	Potable	Azul	
BR-A-07-DOMINICAL DE OSA	193	Potable	Azul	
BR-A-08-CIUDAD CORTÉS	7326	Potable	Azul	
BR-A-09.1-PALMAR SUR FINCAS 3, 2-4, 6-11,12 Y 10	1221	No potable	Naranja	Coliformes fecales
BR-A-09.2-PALMAR SUR FINCAS 5, 7, 8 Y 9	672	No potable	Rojo	Coliformes fecales y cloro residual libre bajo
BR-A-10-PALMAR NORTE	4232	Potable	Azul	
BR-A-11-SAN VITO-SABALITO-AGUABUENA	28331	Potable	Azul	
BR-A-12.1-CIUDAD NEILY (ABROJO)	1881	No potable	Naranja	Coliformes fecales
BR-A-12.2-CIUDAD NEILY (VIEJO)	6471	Potable	Azul	
BR-A-12.3-BARRIO LA FUENTE	261	Potable	Azul	
BR-A-12.4-LA CUESTA - LAUREL	10098	Potable	Azul	
BR-A-12.5-PASO CANOAS	6937	Potable	Azul	
BR-A-13-COTO 44	234	No potable	Amarillo	Hierro, manganeso y color
BR-A-14-ACUEDUCTO INTEGRADO RÍO CLARO-LOS ÁNGELES	10072	Potable	Azul	
BR-A-15-LA MONA DE GOLFITO	1284	Potable	Azul	
BR-A-16.1-GOLFITO: SECTOR PUEBLO CIVIL	1449	Potable	Azul	
BR-A-16.2-GOLFITO: SECTOR QUEBRADA KM 3 Y KM 5	399	Potable	Azul	
BR-A-17-SAN JUAN DE GOLFITO	218	Potable	Azul	
BR-A-18-PUERTO JIMENEZ	2670	Potable	Azul	
BR-A-19.1-BUENOS AIRES: SECTOR FUENTE CABUYA	5250	Potable	Azul	
BR-A-19.2-BUENOS AIRES: SECTOR PLANTA DE TRATAMIENTO	10847	Potable	Azul	
BR-A-20-SANTA MARTA	2521	Potable	Azul	

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cuadro 9.7. Calidad de los acueductos de la RPC durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
PC-A-01-SAN RAMÓN	37458	Potable	Azul	
PC-A-02-SAN JUAN DE SAN RAMÓN	4511	Potable	Azul	
PC-A-03-CHAYOTE DE SAN JUAN DE SAN RAMÓN	6762	Potable	Azul	
PC-A-04-PIEDADES NORTE-LA PAZ-LA ESPERANZA	4138	Potable	Azul	
PC-A-06-PALMARES-ZARAGOZA	25651	Potable	Azul	
PC-A-07-JUAN DE DIOS VÁSQUEZ DE PALMARES	66	No potable	Naranja	Coliformes fecales
PC-A-08-LA GRANJA ARRIBA	809	Potable	Azul	
PC-A-09-PACO RODRIGUEZ	63	Potable	Verde	Cloro residual libre bajo
PC-A-10-SAN MATEO	3557	Potable	Azul	
PC-A-11-JESÚS MARIA DE SAN MATEO	1799	Potable	Azul	
PC-A-12.1-LÍNEA COYOLAR - CALDERA	5389	Potable	Azul	
PC-A-12.2-ARTIEDA-CASCABEL	152	Potable	Azul	
PC-A-13-CERRILLOS-SAN JERÓNIMO	865	Potable	Azul	
PC-A-14-ESPARZA	24536	Potable	Azul	
PC-A-15-QUEPOS	17609	Potable	Azul	
PC-A-16-PARRITA	5138	Potable	Azul	
PC-A-17-BARRANCA - EL ROBLE- CHACARITA	60647	Potable	Azul	
PC-A-18-PUNTARENAS	12797	Potable	Azul	
PC-A-19-CARMEN LYRA-LA GUARIA-MOJONCITO	591	Potable	Azul	
PC-A-20-EL LLANO DE SAN MIGUEL DE BARRANCA	871	No potable	Naranja	Coliformes fecales
PC-A-21-ZAGALA-VILLA BRUSELAS-CEBADILLA	459	No potable	Rojo	Aluminio y pH bajo
PC-A-22-PITAHAYA-ARANJUEZ	1320	Potable	Azul	
PC-A-23-JACÓ DE GARABITO	16919	Potable	Azul	
PC-A-24-SANTA TERESA DE CÓBANO	1357	No potable	Rojo	Coliformes fecales, cloro residual libre bajo, conductividad eléctrica, potasio y sodio
PC-A-25-CÓBANO	3093	Potable	Azul	
PC-A-26-TAMBOR	508	Potable	Azul	
PC-A-27-POCHOTE	277	Potable	Azul	
PC-A-28-ESTERILLOS DE PARRITA	3284	No potable	Amarillo	Hierro, manganeso y cloro residual libre bajo
PC-A-29-QUEBRADA AMARILLA DE JACO	993	Potable	Azul	

Cuadro 9.7. Calidad de los acueductos de la RPC durante el 2017.

Acueductos	Población	Calidad	IRCACH	Parámetros incumplidos
PC-A-30-PLAYA HERMOSA DE JACO	1106	Potable	Azul	Cloro residual libre bajo
PC-A-31-LLANURA DEL PALMAR DE QUEPOS	23	Potable	Azul	
PC-A-32-UVITA DE OROTINA SECTOR PRINCIPAL	2261	Potable	Azul	
PC-A-33-UVITA DE OROTINA SECTOR LA TRINIDAD	94	Potable	Verde	
PC-A-34-EL BAMBÚ DE SAN JUAN DE ESPARZA	69	Potable	Azul	

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

10- ANEXOS

Cuadro 10.1. Criterios microbiológicos para la evaluación de la calidad del agua para consumo según población abastecida.

Table 5.2 Example of categorization of drinking-water systems on the basis of population size and quality rating in order to prioritize actions (see also Table 7.10)

Quality of drinking-water system[a]	Proportion (%) of samples negative for *E. coli*		
	< 5000 population	5000–100 000 population	> 100 000 population
A	90	95	99
B	80	90	95
C	70	85	90
D	60	80	85

[a] Quality decreases from A to D.

Fuente: Cuarta edición de las Guías para la calidad del agua potable, OMS 2011.

Cuadro 10.2. Parámetros de evaluación de la calidad del agua para consumo en Costa Rica.

Parámetros del 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
Parámetros del nivel primero (N1).			
Parámetro	**Unidad**	**Valor Alerta (VA)**	**Valor Máximo Admisible (VMA)**
Color Aparente	U-Pt-Co	5	15
Temperatura*	°C		≥30
Conductividad	µS/cm	400	-
Cloro residual libre*	mg/L	0,30	0,60
Parámetros del 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

Cuadro 10.2. Parámetros de evaluación de la calidad del agua para consumo en Costa Rica.

Cobre	µg/L	1000,0	2000,0
Dureza Total	mg/L	300	400
Fluoruro	mg/L	-	0,70 a 1,50
Hierro(1)	µg/L	-	300,0*
Magnesio	mg/L	30,0	50,0
Manganeso(1)	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

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

Parámetros del 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.

Cuadro 10.3. Niveles de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Clasificación IRCACH	Nivel de riesgo	Código de colores	Calidad del agua	Acciones y recomendaciones
x ≤ 5	Riesgo Muy Bajo (RMB)	Azul	**Apta para ingesta**	Continuar suministro de manera normal, continuar control o vigilancia de la calidad del agua.
5 < x ≤ 10	Riesgo Bajo (RB)	Verde	**Apta para ingesta**, pero susceptible al deterioro de la calidad	Continuar suministro, implementar control de calidad del agua.
10 < x ≤ 20	Riesgo Intermedio (RI)	Amarillo	**No apta para ingesta,** rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas.	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química.
20 < x ≤ 30	Riesgo Alto (RA)	Naranja	**No apta para ingesta**	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química y/o el Procedimiento de Inspecciones Ordinarias.
x > 30	Riesgo Muy Alto (RMA)	Rojo	**No apta para ingesta**	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, Procedimiento de Inspecciones Ordinarias, Procedimiento de Inspección para Emergencias de Brotes y/o el Procedimiento de Inspección para Emergencias Químicas.

Fuente: Elaborado por un equipo multidisciplinario de profesionales del LNA en el 2017.

Cuadro 10.4. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano: puntaje de cada variable.

Parámetros	Valor Máximo Admisible	Ámbito	Puntaje asignado	Ámbito	Puntaje asignado
Aluminio (µg/L))	200,0	200,0 < x ≤ 400,0	3	x > 900,0	31
		400,0 < x ≤ 900,0	6		
Amonio (mg/L)	0,50	x > 0,50	3	-	-
Calcio (mg/L)	100,0	x > 100,0	4	-	-
Cloro Residual (mg/L) (1) (2)	0,30 – 0,60	x > 1,00	3	x < 0,30	6
Cloruros (mg/L)	250,00	x > 250,00	1	-	-
Cobre (µg/L)	2000,0	x > 2000,0	21	-	-
Coliformes fecales /100 mL Sistemas Clorados (3) (4)	< 1 NMP/100 mL < 1 UFC/100 mL	≥ 1 NMP/100 mL ≥ UFC/100 mL	25	-	-
Coliformes fecales /100 mL Sistemas No Clorados (3) (4)	< 1 NMP/100 mL < 1 UFC/100 mL	≥ 1 NMP/100 mL ≥ UFC/100 mL	21	-	-
Color aparente (UPt-Co)	15	15 < x ≤ 30	4	x > 30	11
Conductividad (µS/cm)	400	400 < x < 1000	3	x ≥ 1000	21
Dureza total (mg/L)	400	x > 400	4	-	-
Fluoruros (mg/L)	1,50	1,50 < x ≤ 2,00	6	x > 2,00	21
Hierro (µg/L) + Manganeso (µg/L) (5)	300,0	300,0 < x ≤ 500,0	8	x > 500,0	11
Magnesio (mg/L)	50,0	x > 50,0	4	-	-
Olor (6)	Aceptable	Aceptable	11	-	-
pH (1)	6,00 – 8,00	5,50 ≤ x < 6,00 o 8,00 < x ≤ 8,50	1	x < 4,00	11
		x > 8,50 o 4,00 ≤ x < 5,50	6		
Potasio (mg/L)	10,0	x > 10,0	1	-	-
Selenio (µg/L)	10,00	10,00 < x ≤ 40,00	6	x > 40,0	31
Sodio (mg/L)	200,0	x > 200,0	1	-	-
Sulfatos (mg/L)	250,00	250,00 < x ≤ 500,00	4	x > 500,00	6
Temperatura (C°)	30,0	x > 30,0	1	-	-
Turbiedad (UNT)	5,00	5,00 < x ≤ 8,00	4	x > 8,00	11
Zinc (µg/L)	3000,0	x > 3000,0	1	-	-
Principales parámetros fisicoquímicos de significado para la salud					

Cuadro 10.4. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano: puntaje de cada variable.

Parámetros	Valor Máximo Admisible	Ámbito	Puntaje asignado	Ámbito	Puntaje asignado
Antimonio (µg/L)	5	4,5 < x ≤ 5	Si el puntaje total califica el agua con riesgo Muy Bajo, pasar a riesgo Bajo.	x > 5	31
Arsénico (µg/L)	10	9 < x ≤ 10		x > 10	31
Cadmio (µg/L)	3	2,7 < x ≤ 3		x > 3	31
Cobre (µg/L)	2000,0	1800,0 < x ≤ 2000,0		x > 2000,0	21
Cianuro (mg/L)	0,07	0,06 < x ≤ 0,07		x > 0,07	31
Cromo (µg/L)	50	45 < x ≤ 50		x > 50	31
Mercurio (µg/L)	1	0,9 < x ≤ 1		x > 1	31
Níquel (µg/L)	20	18 < x ≤ 20		x > 20	31
Nitratos (mg/L)	50	45 < x ≤ 50		x > 50	21
Nitritos (mg/L)	0,1	0,09 < x ≤ 0,1		x > 0,1	21
Plomo (µg/L)	10	9 < x ≤ 10		x > 10	31

(1) En el caso del parámetro cloro residual libre y pH, no se define un valor máximo permisible sino ámbito recomendado.

(2) Se establece el ámbito a partir de 1,00 mg/L, debido a que concentraciones superiores pueden causar rechazo por el consumidor.

(3) Se aplica una de las tres técnicas de laboratorio: filtración por membrana, técnica de tubos múltiples y técnica de sustrato definido.

(4) Se hace diferencia entre los acueductos clorados y no clorados a la hora de asignar el puntaje de coliformes fecales.

(5) En espera de la quinta edición de las Guías para la Calidad del Agua Potable de la OMS para la determinación del riesgo en la salud del manganeso.

(6) Para el parámetro olor se hace una medición cualitativa, la cual es aceptable o inaceptable. En caso de ser inaceptable, se asigna un valor de 11 puntos.

Fuente: Elaborado por un equipo multidisciplinario de profesionales del LNA en el 2017.

Cuadro 10.5. Clasificación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos según su efecto en la calidad del agua.

Tipo	Parámetros	Observación
Estéticos	Cloruros	Valores superiores al VMA no representan un riesgo para la salud ni generan rechazo por parte de los consumidores.
	Potasio	
	Sodio	
	Zinc	
	Calcio	Valores superiores al VMA no representan un riesgo para la salud, pero pueden generar rechazo por parte de los consumidores.
	Dureza total	
	Magnesio	
	Sulfatos	
	Hierro	
	Manganeso	
	Color aparente	Valores superiores al VMA no necesariamente representan un riesgo para la salud, pero generan rechazo por parte de los consumidores.
	Turbiedad	
	Olor	
Operativos	Temperatura	Valores superiores al VMA no representan un riesgo para la salud ni generan rechazo por parte de los consumidores.
	pH	Valores superiores a 8,5 o inferiores a 5,5 pueden modificar las propiedades organolépticas del agua (pH ácidos disuelven metales de la corteza terrestre) y ocasionar daños técnicos en infraestructura o deficiencia en los procesos de tratamiento (pH básicos forman incrustaciones en tuberías).
	Cloro residual libre	Valores superiores a 1,00 mg/L no representan un riesgo para la salud, pero podrían generan rechazo por parte de los consumidores. Valores inferiores a 0,30 mg/L presentan un riesgo de contaminación microbiana, al no contar con el efecto residual del desinfectante.
	Conductividad	Valores entre (400-1000) µS/cm no representan un riesgo a la salud, indican irregularidades o posible contaminación. Valores superiores a 1000 µS/cm indican presencia de contaminantes; ej.: intrusión salina.
Indicador de contaminación	Amonio	Valores superiores al VMA indican una posible contaminación por materia orgánica, pero que por sí mismo no resulta dañino para la salud.
Significado para la salud	Fluoruros	Valores superiores al VMA pueden generar efectos adversos en la salud.
	Coliformes fecales	Valores superiores al VMA indican una posible contaminación fecal, y pueden generar efectos adversos en la salud.
	Cobre	Valores superiores al VMA pueden generar efectos adversos en la salud y provocar rechazo por los consumidores.
	Nitratos	Valores superiores al VMA indican una posible contaminación antropogénica, y pueden generar efectos adversos en la salud.
	Nitritos	
	Aluminio	Valores superiores a 900 µg/L pueden ser nocivos para la

Cuadro 10.5. Clasificación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos según su efecto en la calidad del agua.

Tipo	Parámetros	Observación
		salud
	Selenio	Valores superiores a 40,00 µg/L pueden ser nocivos para la salud.
	Antimonio	Valores superiores al VMA pueden ser nocivos para la salud.
	Arsénico	
	Cadmio	
	Cianuro	
	Cromo	
	Mercurio	
	Níquel	
	Plomo	
	Nivel 4	

Fuente: Elaborado por un equipo multidisciplinario de profesionales del LNA en el 2017.