**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**

**LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS**

# INFORME ANUAL
# COBERTURA Y CALIDAD DEL AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO SUMINISTRADA POR AYA EN EL 2019


Elaborado por:

M.Sc. Jimena Orozco Gutiérrez

Revisado por:

Dr. Pablo Rivera Navarro

Aprobado por:

Dr. Darner Mora Alvarado


**Marzo 2020**

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, Eric Alonso Bogantes Cabezas**

_____

_____

**N° Cédula:** 5-251-0327

_____

**Dependencia: Gerencia General**

_____

Autorizo como 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 y Catálogo en línea (OPAC).

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

**E-mail**: gerenciageneral@aya.go.cr **N° Teléfono**: 2242-5090

**Firma**: _____

60 AyA ANIVERSARIO 1961- 2021

Firmado digitalmente por ERIC ALONSO BOGANTES CABEZAS (FIRMA)
Fecha: 2021.06.16 17:21:24 -06'00'

**ÍNDICE GENERAL**


1. INTRODUCCIÓN ..... 4
2. OBJETIVO GENERAL ..... 7
2.1. Objetivos específicos ..... 7
3. METODOLOGÍA ..... 8
3.1. Muestreo ..... 8
3.2. Métodos de análisis ..... 9
3.3. Interpretación de los resultados ..... 9
3.4. Cobertura con agua de calidad potable ..... 11
3.5. Escalera del servicio de agua en hogares de la OMS ..... 11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR REGIÓN OPERACIONAL ..... 12
4.1. Región Área Metropolitana ..... 12
4.1.1. Resultados y discusión ..... 12
4.1.2. Conclusiones ..... 15
4.1.3. Recomendaciones ..... 16
4.2. Región Huetar Caribe ..... 17
4.2.1. Resultados y discusión ..... 17
4.2.2. Conclusiones ..... 19
4.2.3. Recomendaciones ..... 20
4.3. Región Chorotega ..... 20
4.3.1. Resultados y discusión ..... 20
4.3.2. Conclusiones ..... 22
4.3.3. Recomendaciones ..... 23
4.4. Región Central ..... 23
4.4.1. Resultados y discusión ..... 23
4.4.2. Conclusiones ..... 25
4.4.3. Recomendaciones ..... 26
4.5. Región Brunca ..... 26
4.5.1. Resultados y discusión ..... 26
4.5.2. Conclusiones ..... 28
4.5.3. Recomendaciones ..... 29
4.6. Región Pacífico Central ..... 29
4.6.1. Resultados y discusión ..... 29
4.6.2. Conclusiones ..... 32
4.6.3. Recomendaciones ..... 33
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERALES ..... 33
5.1. Cobertura de agua potable ..... 34
5.2. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH) ..... 37

5.3. Parámetros incumplidos ..... 38
5.4. Escalera del servicio de agua en hogares de la OMS ..... 47
6. CONCLUSIONES GENERALES ..... 48
7. RECOMENDACIONES GENERALES ..... 52
8. REFERENCIAS ..... 53
9. APÉNDICES ..... 55
10. ANEXOS ..... 68

## ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 1.1.** Población abastecida y número de sistemas de abastecimiento de AyA en el 2019. ..... 6

**Cuadro 1.2.** Tipos de fuentes de abastecimiento de AyA en el 2019. ..... 6

**Cuadro 5.1.** Sistemas de abastecimiento con calidad no potable por presencia de coliformes fecales durante el 2019. ..... 38

**Cuadro 9.1.** Población abastecida por sistemas operados por AyA según calidad de agua durante el periodo 2019. ..... 55

**Cuadro 9.2.** Población abastecida por sistemas clorados operados por AyA según calidad de agua durante el periodo 2019. ..... 55

**Cuadro 9.3.** Población abastecida por sistemas no clorados operados por AyA según calidad de agua durante el periodo 2019. ..... 56

**Cuadro 9.4.** Número de sistemas operados por AyA según calidad de agua durante en el 2019. ..... 56

**Cuadro 9.5.** Calidad de los sistemas operados por la RAM durante el 2019. ..... 57

**Cuadro 9.6.** Calidad de los sistemas operados por la RHC durante el 2019. ..... 60

**Cuadro 9.7.** Calidad de los sistemas operados por la RCH durante el 2019. ..... 60

**Cuadro 9.8.** Calidad de los sistemas operados por la RC durante el 2019. ..... 63

**Cuadro 9.9.** Calidad de los sistemas operados por la RB durante el 2019. ..... 65

**Cuadro 9.10.** Calidad de los sistemas operados por la RPC durante el 2019. ..... 66

**Cuadro 10.1.** Frecuencia de muestreo y número de muestras a recolectar en las fuentes de abastecimiento, tanques de almacenamiento y red de distribución para el nivel 1 del control de calidad. ..... 68

**Cuadro 10.2.** Frecuencia de muestreo y número de muestras a recolectar para análisis fisicoquímicos en las fuentes de abastecimiento y red de distribución para los niveles 2 y 3 del control de calidad. ..... 68

**Cuadro 10.3.** Parámetros para la evaluación de la calidad del agua para consumo humano. ..... 69

**Cuadro 10.4.** Criterios microbiológicos para la evaluación de la calidad del agua para consumo según población abastecida. ..... 70

**Cuadro 10.5.** Clasificación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según su efecto en la calidad del agua. ..... 70

**Cuadro 10.6.** Niveles de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano. ..... 71

**Cuadro 10.7.** Escalera del servicio de agua en hogares..... 72

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 5.1.** Población abastecida por sistemas operados por AyA según calidad de agua por provincia durante en el 2019. ..... 35

**Figura 5.2.** Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en acueductos del AyA en los últimos ocho años..... 35

**Figura 5.3.** Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en cada región del AyA en los últimos ocho años. ..... 36

**Figura 5.4.** Porcentajes de población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua en el 2018. ..... 37

**Figura 5.5.** Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable y no potable de acueductos operados por AyA en el 201. ..... 40

**Figura 5.6.** Número de casos de incumplimientos incurridos en sistemas operados por AyA de los distintos parámetros en el 2019. ..... 42

**Figura 5.7.** Escalera del servicio de agua en hogares suministrado por AyA el 2019..... 48

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe evalúa la calidad y cobertura del agua para consumo humano suministrada por los acueductos operados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) durante el 2019. Estos acueductos se evalúan mediante el programa de control de calidad a través del Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), considerado el centro de referencia para análisis de agua según Decreto Ejecutivo N°26066-S. El laboratorio cuenta con al menos 90 ensayos acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) de conformidad con los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005; además cuenta con cinco procedimientos de inspecciones sanitarias acreditados de conformidad con los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17020:2012.

El AyA, como ente operador, es el responsable de velar por la calidad e inocuidad del agua que produce y suministra a los usuarios, así como del mantenimiento preventivo y las medidas correctivas pertinentes. El ente operador es responsable de llevar a cabo el control de calidad para cada sistema de abastecimiento de agua. El Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015) establece el control de calidad, como la evaluación continua y sistemática de todas las partes del acueducto, a fin de cumplir las normas de calidad.

Los acueductos o sistemas de abastecimiento están conformados 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:

- Naciente o subsuperficial: 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 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).

El agua de las fuentes subsuperficiales (nacientes) y subterráneas, normalmente no presenta niveles altos de turbiedad, por lo que, la cloración se puede aplicar 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 para reducir los niveles de turbiedad y color aparente, previo a la cloración. La alta turbiedad en el agua es un factor que dificulta la cloración del agua, debido a que la acción del cloro se vuelve ineficiente, logrando pasar desapercibidos los microrganismos entre la materia orgánica (Hussein, et al., 2015; OMS, 2011). 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 tratamiento previo para cumplir con los valores máximos admisibles y garantizar la eficiencia de la desinfección. Sin embargo, el AyA todavía utiliza fuentes superficiales sin tratamiento. Para el 2019, el AyA contó con al menos 17 fuentes superficiales que no recibieron tratamiento para potabilización.

El reglamento (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015) establece en el artículo 17, el uso de cloro libre como agente desinfectante, con el fin de mantener un residual que garantice la calidad del agua ante eventuales contaminaciones en la red de distribución. El documento establece un rango admisible de (0,3 - 0,6) mg/L, 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. La función principal del cloro es reducir la carga microbiana y prevenir posibles cuadros clínicos asociados a la presencia de patógenos.

**Cuadro 1.1.** Población abastecida y número de sistemas de abastecimiento de AyA en el 2019.

| Región operativa | Población abastecida | | | | | Sistemas de abastecimiento | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cl(1) | % | No Cl(2) | % | Total | Cl(1) | No Cl(2) | Total |
| Área Metropolitana | 1411953 | 99,9% | 1831 | 0,1% | 1413784 | 52 | 6 | 58 |
| Brunca | 188092 | 100,0% | 0 | 0,0% | 188092 | 27 | 0 | 27 |
| Central | 207338 | 100,0% | 62 | 0,0% | 207400 | 33 | 3 | 36 |
| Chorotega | 211741 | 100,0% | 0 | 0,0% | 211741 | 55 | 0 | 55 |
| Huetar Caribe | 236872 | 100,0% | 26 | 0,0% | 236898 | 14 | 1 | 15 |
| Pacífico Central | 162461 | 98,0% | 3284 | 2,0% | 165745 | 23 | 1 | 24 |
| **Totales** | 2418457 | 99,8% | 5203 | 0,2% | 2423660 | 204 | 11 | 215 |

(1) Cl: Sistemas clorados; (2) Sistemas no clorados.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 1.2.** Tipos de fuentes de abastecimiento de AyA en el 2019.

| Región operativa | Fuentes de abastecimiento | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Total | Pozos | Nacientes | Superficiales |
| Área Metropolitana | 121 | 50 | 45 | 26 |
| Brunca | 68 | 15 | 43 | 10 |
| Central | 57 | 23 | 29 | 5 |
| Chorotega | 141 | 123 | 14 | 4 |
| Huetar Caribe | 29 | 14 | 13 | 2 |
| Pacífico Central | 102 | 82 | 15 | 5 |
| **Totales** | 518 | 307 | 159 | 52 |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Para el 2019 la población total abastecida por sistemas operados por AyA fue de 2 423 660 personas, lo que equivale aproximadamente al 47,9 % de la población nacional, al compararlo contra la población de Costa Rica estimada por la Encuesta Nacional de Hogares (INEC, 2019). Se registraron 215 sistemas, de los cuales 204 sistemas clorados suministraron agua al 99,8 % de la población abastecida por AyA, y 11 sistemas no clorados suministraron agua al 0,2 % de la población abastecida por AyA. Estos sistemas pertenecientes al AyA están distribuidos en seis regiones operacionales: Área

Metropolitana (RAM), Huetar Caribe (RHC), Chorotega (RCH), Central (RC), Brunca (RB) y Pacífico Central (RPC). La RAM presentó una cobertura del 58,3 % de la población abastecida por AyA, seguida de la RHC con 9,8 %, la RCH con 8,7 %, la RC con 8,6 %, la RB con 7,8 % y, por último, la RPC con 6,8 %. La población abastecida por AyA, así como el número de sistemas, se observan en el Cuadro 1.1. Con respecto a las fuentes de abastecimiento, se reportaron un total de 518 fuentes, de las cuales 307 fueron subterráneas (59 %), 159 nacientes (31 %), y 52 superficiales (10 %). En el Cuadro 1.2 se detalla la cantidad de fuentes de abastecimiento según región operacional.

El presente informe busca analizar la calidad del agua suministrada por 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 sistemas de abastecimiento operados por AyA durante el 2019, 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) (Mora, et al., 2018).

### 2.1. Objetivos específicos

- Evaluar el cumplimiento de la reglamentación vigente referente a la calidad del agua suministrada por sistemas de abastecimiento operados por AyA en el 2019.
- Calcular la cobertura de agua de calidad potable en los sistemas de abastecimiento operados por AyA en el 2019.
- Evaluar el riesgo asociado a la calidad del agua de los distintos sistemas de abastecimiento operados por AyA, utilizando el IRCACH.
- Identificar los sistemas de abastecimiento operados por AyA susceptibles a la contaminación del agua.
- Identificar los parámetros con mayor número de incumplimientos que afectan la calidad del agua en los sistemas de abastecimiento operados por AyA.

- Analizar la evolución de la cobertura y calidad del agua en los sistemas de abastecimiento operados por AyA durante los últimos años.
- Elaborar la escalera del servicio de agua en hogares abastecidos por sistemas de abastecimiento operados por AyA

## 3. METODOLOGÍA

El presente informe se basó en los datos recolectados y procesados para el programa de control de calidad del agua de los sistemas de abastecimiento operados por AyA, llevado a cabo por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA). 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 procedimientos de muestreo y manipulación de muestras de agua se definen en del Manual de Calidad del LNA, los cuales a su vez, se basan en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 23 Ed. (American Public Health Association, et al., 2017); mientras que las especificaciones de muestreo, como número mínimo de muestras a recolectar y la frecuencia, se definen en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015). Las especificaciones de muestreo para el control de calidad del agua varían en función de la población abastecida por el sistema. En los Cuadros 10.1 y 10.2 de Anexos se detallan las frecuencias de muestreo y el número mínimo de muestras a recolectar para los niveles 1, 2 y 3 del control de calidad.

En el caso de los sistemas de abastecimiento que poseen planta potabilizadora, el LNA hace una excepción respecto a la frecuencia de muestreo, ya que se visitan en forma mensual. Los sistemas 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, el reglamento actual (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015) indica que los sistemas que abastezcan a poblaciones superiores a 100 000 habitantes y 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). Esta condición fue aplicada para el Acueducto Metropolitano, que presentó una población de 1 189 714 habitantes.

Con respecto a los parámetros del nivel 4, no existe una frecuencia de muestreo determinada, ya que se muestrean cuando la inspección sanitaria identifique que existe riesgo de contaminación o cuando lo solicite el Ministerio de Salud.

### 3.2. Métodos de análisis

Los ensayos de análisis de muestras se basan en los procedimientos normalizados del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 23 Ed. (American Public Health Association, et al., 2017), métodos de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (*United States Environmental Protection Agency*, EPA) y los lineamientos del Sistema de Gestión de Calidad del LNA, acreditado de conformidad con los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.

### 3.3. Interpretación de los resultados

Los criterios para evaluar la calidad del agua suministrada se encuentran definidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015) y en el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH) (Mora, et al., 2018). El IRCACH se incluye en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, mediante la reforma y adición a dicho reglamento (Decreto Ejecutivo N° 41499-S, 2019), que recomienda en el artículo 21 la revisión del IRCACH para efectos de interpretación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.

La determinación de la calidad del agua se realiza tomando en cuenta solo los ensayos de parámetros efectuados en la red de distribución; es decir, se evalúa el agua como producto final suministrado a viviendas y demás instalaciones. Sin embargo, para analizar los parámetros de plaguicidas del nivel 4 se consideran, tanto los ensayos realizados en la red, como en las fuentes de abastecimiento. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para evaluar la calidad del agua se muestran en el Cuadro 10.3 de Anexos, junto con su valor máximo admisible; 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.

En el caso de los análisis microbiológicos, el resultado puntual denota un crecimiento detectable (positivo) o no detectable (negativo) para coliformes fecales y *Escherichia coli.* Para evaluar el agua suministrada por un sistema de abastecimiento se

considera el porcentaje de los análisis negativos con respecto al total de análisis realizados en un año. En el artículo 12, inciso d, del reglamento (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015), 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 (OMS, 2011), específicamente en la sección *5.5.2 Regional use of data* (Uso de los datos en el ámbito regional), establece que el porcentaje de negatividad con que se evalúan los sistemas de abastecimiento varía en función de la población abastecida, independientemente del número de muestras recolectadas al año (ver Cuadro 10.4 de Anexos). Por ende, el LNA interpreta los criterios microbiológicos de la siguiente forma:

- El agua potable cumple los criterios de la calidad microbiológica en aquellos sistemas de abastecimiento de agua clorada, cuya población abastecida sea inferior a 5 000 habitantes, si el porcentaje de negatividad es igual o superior al 90 % para coliformes fecales; y en los sistemas que abastezcan a poblaciones iguales o superiores a 5 000 habitantes, si el porcentaje de negatividad es igual o superior al 95 **%.**

- En los sistemas de abastecimiento 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 *Escherichia coli*.

Para efectos del presente informe, se define que el agua de un sistema de abastecimiento 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. Bajo esta definición se consideró potable al agua suministrada que presentara valores superiores al máximo admisible de parámetros que no fueran de significado para la salud, siempre y cuando, los valores reportados no afectaran la estética del agua. En el Cuadro 10.5 de Anexos se detalla la clasificación de los parámetros propuesta en el IRCACH.

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); y se consideró potable si el riesgo 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 IRCACH (Mora, et al., 2018); 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, además del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015) y del IRCACH, se hizo uso del criterio de expertos para determinar la potabilidad del agua de los acueductos, principalmente en los casos donde se cuenta con pocos análisis de los niveles 2 y 3. Se define criterio de experto como el juicio de profesionales que trabajan con análisis fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos del agua para consumo humano, basado en experiencia, datos históricos y conocimiento científico (Mora, et al., 2018). Los niveles de riesgo asociado a la calidad del agua del IRCACH se describen en el Cuadro 10.6 de Anexos.

### 3.4. Cobertura con agua de calidad potable

La cobertura con agua potable se refiere al porcentaje de población abastecida con agua potable sobre el total de la población abastecida. La fórmula empleada para calcular la cobertura nacional y de cada región fue la siguiente:

$$Cobertura\ con\ agua\ potable = \frac{población\ abastecida\ con\ agua\ potable}{población\ total\ abastecida} * 100$$

### 3.5. Escalera del servicio de agua en hogares de la OMS

La escalera del servicio de agua en hogares, elaborada por el Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento (JMP) (UNICEF, 2017), se utilizó para determinar la cobertura según el nivel de servicio de abastecimiento suministrado por AyA. La elaboración de la escalera del servicio de agua en hogares suministrado por AyA se basó, tanto en los datos generados por el LNA, como en la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) mediante la Encuesta Nacional de Hogares en el 2019. El Cuadro 10.7 de Anexos muestra la escalera del servicio de agua en hogares.

De acuerdo con la UNICEF (2017), las fuentes mejoradas de agua se definen como aquellas que tienen el potencial de suministrar agua de buena calidad por la naturaleza de su diseño y construcción. Sin embargo, los datos generados, tanto por el INEC, como por el LNA, no permiten diferenciar entre población abastecida por fuentes mejoradas o no mejoradas. Para poder adaptar la escalera a los registros estadísticos y administrativos existentes en Costa Rica, se hizo el supuesto de que todos los sistemas operados por AyA suministran agua proveniente de fuentes mejoradas; esto significa que la totalidad de la población abastecida por AyA recibió un servicio por lo menos del nivel básico.

Para que el servicio de abastecimiento sea considerado como gestionado de manera segura, no solo debe presentar fuentes mejoradas, sino que debe cumplir con tres criterios: accesible en la vivienda o propiedad, disponible cuando se necesite y estar libre de contaminación (UNICEF, 2017). Los sistemas operados por AyA suministraron un servicio de agua por tubería a los hogares, ya sea dentro de la vivienda o en la propiedad, con lo que se cumple el criterio de accesibilidad para la totalidad de la población. Con respecto a la disponibilidad del servicio, en la página 55 del informe *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017* (UNICEF, 2019), el JMP clasifica como servicio “disponible cuando se necesite”, a los hogares que reporten suficiente agua disponible en la última semana o mes; también se consideró servicio “disponible cuando se necesite” a los hogares que reporten agua disponible al menos 12 horas al día o 4 días a la semana. Por lo tanto, se hizo el supuesto de que todos los sistemas operados por AyA suministraron agua disponible cuando se necesite; aunque no todos los sistemas hayan suministrado agua durante las 24 horas al día los 365 días del año, se espera que el suministro de agua haya sido mayor a 12 horas diarias. El tercer criterio que respecta a la calidad del agua suministrada, que debe estar libre de contaminación fecal y de sustancias químicas prioritarias, se evalúa en el presente informe. Los sistemas de abastecimiento que suministraron agua de calidad potable fueron considerados como servicios gestionados de manera segura.

# 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR REGIÓN OPERACIONAL

## 4.1. Región Área Metropolitana

### 4.1.1. Resultados y discusión

En los Cuadros 9.1 al 9.4 de los Apéndices se detallan el número de sistemas de abastecimiento y las poblaciones abastecidas por AyA, de acuerdo con la calidad del agua suministrada. En el Cuadro 9.5 de los Apéndices se enumeran los sistemas de abastecimiento de la Región Área Metropolitana (RAM) junto con su correspondiente calidad, riesgo asociado a ésta y los parámetros incumplidos.

En el 2019, la RAM suministró agua al 58,3 % (1 413 784 habitantes) del total de la población abastecida por AyA, mediante 52 sistemas clorados y seis no clorados. De este total de 58 sistemas, 47 suministraron agua potable a 1 403 040 habitantes, lo que corresponde al 99,2 % de la población de la RAM, y 11 suministraron agua no potable a 10 744 habitantes, que corresponde al 0,8 %.

La RAM es la región de mayor complejidad, debido a su alta densidad poblacional y a la interconexión de sus sistemas de abastecimiento. La gran mayoría de los sistemas se encuentran interconectados por válvulas, y en la red de distribución se entremezcla el agua proveniente de varias fuentes distintas. Para efectos de un mejor análisis de la información, el presente informe hace la distinción entre el Acueducto Metropolitano y los acueductos periféricos.

El Acueducto Metropolitano, compuesto por 19 sistemas clorados, suministró agua de calidad potable mediante 18 sistemas a 1 255 236 habitantes, y el sistema ME-A-22-Pizote suministró agua no potable a 6 579 habitantes. De acuerdo con el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), los sistemas del Acueducto Metropolitano presentaron riesgo muy bajo (Azul), con la excepción del sistema ME-A-22-Pizote que presentó riesgo alto (Naranja) por presencia de coliformes fecales.

En cuanto a los acueductos periféricos, para el 2019 se registraron 40 sistemas que brindaron agua para consumo a 151 969 personas, de las cuales, el 97,3 % recibió agua potable.

En la evaluación general de la RAM, incluyendo Acueducto Metropolitano y acueductos periféricos, el 99,2 % de la población abastecida recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 0 % de riesgo bajo (Verde); 0,01 % de riesgo intermedio (Amarillo), 0,6 % de riesgo alto (Naranja), y 0,2 % 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.

La calidad no potable del agua suministrada por la RAM se debió principalmente al incumplimiento de los criterios microbiológicos, seguido de turbiedad, color aparente, aluminio, hierro y manganeso. De los sistemas no potables, cinco fueron clorados y seis no clorados. Los sistemas donde se detectó la presencia de coliformes fecales, se consideraron de riesgo alto (Naranja); si además se detectaron concentraciones de cloro inferiores a 0,3 mg/L, siendo el sistema clorado, el riesgo pasó a ser muy alto (Rojo). El sistema ME-A-05.2-Chirracal presentó niveles de turbiedad por encima de 8 UNT, por lo que se consideró de riesgo intermedio (Amarillo). Los sistemas que incumplieron con los valores de hierro, manganeso, aluminio, color aparente y turbiedad, se consideraron de riesgo muy alto (Rojo), ya que incumplieron también con los criterios microbiológicos. En el Cuadro 9.5 de los Apéndices se enumeran los acueductos de calidad no potable para la RAM.

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.

La calidad no potable de los sistemas no clorados ha persistido a lo largo de los últimos años. Para el 2019, todos los sistemas no clorados se consideraron de calidad no potable por presencia de coliformes fecales. Los sistemas no clorados se ubican en los cantones de Escazú y 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 sistemas no clorados abastecieron a una población reducida (1 831 habitantes), que equivale al 0,1 % de la población total de la RAM.

En cuanto a los sistemas clorados, ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla, ME-A.25.6-La Mina de Escazú, ME-A-30-Jericó de Desamparados y ME-A-22-Pizote presentaron coliformes fecales. La presencia de contaminación fecal 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. 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 de 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 se usa 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 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 continúa interactuando con las partículas en el agua (OMS, 2011). La planta de Guadalupe, a pesar de presentar un dato puntual de aluminio superior a 1 mg/L en octubre, mantuvo las concentraciones por debajo de 0,2 mg/L en el resto de las muestras. Por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado muy bajo (Azul) para el 2019.

En el 2019, el porcentaje de población de la RAM abastecida con agua de calidad potable disminuyó 0,4 puntos porcentuales con respecto al del 2018 (Figura 5.3).

### 4.1.2. Conclusiones

- En el 2019, la RAM suministró agua de calidad potable a 1 403 040 habitantes mediante 47 sistemas, lo que equivale al 99,2 % de la población de la región.

- El Acueducto Metropolitano, compuesto por 19 sistemas clorados, suministró agua de calidad potable mediante 18 sistemas a 1 255 236 habitantes con riesgo muy bajo (Azul), con la excepción del sistema ME-A-22-Pizote que presentó riesgo alto (Naranja) por presencia de coliformes fecales.

- En el 2019, el 99,2 % de la población abastecida recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 0 % de riesgo bajo (Verde); 0,01 % de riesgo intermedio (Amarillo), 0,6 % de riesgo alto (Naranja), y 0,2 % de riesgo muy alto (Rojo).

- La calidad no potable del agua suministrada por la RAM se debió principalmente al incumplimiento de los criterios microbiológicos.

- La acción desinfectante del cloro desempeñó un papel importante en la calidad microbiológica del agua, dado que la mayoría de los sistemas de abastecimiento clorados fueron de calidad potable, mientras que, todos los sistemas de abastecimiento no clorados fueron de calidad no potable por presencia de coliformes fecales.

- La falta de un tratamiento de potabilización de las fuentes de abastecimiento superficiales, que abastecen los cantones de Alajuelita y Escazú, representan un factor de alto riesgo por contaminación microbiana.

- Los sistemas no clorados que incumplieron con los valores de hierro, manganeso, aluminio, color aparente y turbiedad, se consideraron de riesgo muy alto (Rojo), ya que incumplieron también con los criterios microbiológicos.

- Los sistemas clorados no potables por contaminación microbiana fueron ME-A-24.1-Cangrejal de Matinilla, ME-A.25.6- La Mina de Escazú, ME-A-30-Jericó de Desamparados y ME-A-22-Pizote.

- El sistema ME-A-05.2-Chirracal presentó niveles de turbiedad por encima de 8 UNT, por lo que se consideró no potable de riesgo intermedio (Amarillo).

- La planta de Guadalupe mantuvo las concentraciones de aluminio por debajo de 0,2 mg/L; por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado muy bajo (Azul) para el 2019.

- En el 2019, la cobertura de agua potable en la RAM disminuyó 0,4 puntos porcentuales con respecto al 2018.

### 4.1.3. Recomendaciones

- Buscar nuevas fuentes de abastecimiento que satisfagan la demanda de agua en las zonas vulnerables de los cantones de Escazú y Alajuelita.

- Potabilizar las fuentes superficiales no cloradas, o bien, buscar nuevas fuentes de abastecimiento con caudal suficiente para abastecer la demanda, 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 fin de evitar la contaminación del agua para logar una mejora en su calidad, al mismo tiempo reducir 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.

## 4.2. Región Huetar Caribe

### 4.2.1. Resultados y discusión

En los Cuadros 9.1 al 9.4 de los Apéndices se detallan el número de sistemas de abastecimiento y las poblaciones abastecidas por AyA, de acuerdo con la calidad del agua suministrada. En el Cuadro 9.6 de los Apéndices se enumeran los sistemas de abastecimiento de la Región Huetar Caribe (RHC) junto con su correspondiente calidad, riesgo asociado a ésta y los parámetros incumplidos.

En el 2019, la RHC suministró agua al 9,8 % (236 898 habitantes) del total de la población abastecida por AyA, mediante 14 sistemas clorados y uno no clorados. De este total de 15 sistemas, 14 suministraron agua potable a 234 657 habitantes, lo que corresponde al 99,1 % de la población de la RHC, y uno suministró agua no potable a 2 241 habitantes, que corresponde al 0,9 %.

Con respecto al Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), el 95,9 % de la población abastecida recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 3,1 % de riesgo bajo (Verde); 0,9 % de riesgo intermedio (Amarillo), 0 % 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.

La calidad no potable del agua de la RHC se debió al incumplimiento de hierro y manganeso en el sistema HA-A-05-La Guaria del Valle de La Estrella, el cual se consideró de riesgo intermedio (Amarillo), ya que la concentración de la suma de ambos metales

superó los 500 µg/L. El sistema HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo presentó concentraciones de hierro y manganeso por debajo 500 µg/L, pero por encima de 300 µg/L; por lo tanto, se consideró de riesgo bajo (Verde). El sistema HA-A-02-Cahuita presentó concentraciones de calcio superiores y cercanas a 100 mg/L, con una conductividad eléctrica promedio de 600 µS/cm; por lo que se consideró de riesgo bajo (Verde). Adicionalmente, el riesgo bajo (Verde) se debió a concentraciones nulas o insuficientes de cloro residual. En el Cuadro 9.6 de los Apéndices se enumeran los acueductos de calidad no potable para la RHC.

El hierro y manganeso son considerados por las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) como metales, 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 en las concentraciones normalmente encontradas en el agua. 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 de hierro mayores de 300 µg/L, se incrementa su capacidad para 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 400 µg/L de manganeso, sus efectos sobre la salud no han sido confirmados, y no se ha demostrado que la ingesta de manganeso cause afectaciones en la salud (asociación causal). Concentraciones superiores a 50 µg/L pueden generar una coloración negra o café, causar un sabor desagradable y manchas en la ropa y loza sanitaria (EPA, 2017). Asimismo, el manganeso en el agua puede precipitar y como resultado, se acumulan sedimentos en la red de distribución.

El AyA cuenta con una planta de remoción de hierro y manganeso del agua de los pozos que abastecen al sistema HA-A-05-La Guaria del Valle de La Estrella. No obstante, el agua tratada y en la red de distribución presentó concentraciones de hierro y manganeso superiores a 500 µg/L. Caso similar ocurrió con el sistema HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo, cuya planta de remoción no logró reducir las concentraciones de hierro y manganeso a valores inferiores a 300 µg/L.

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. Esta nueva planta suministrará agua de calidad potable a 14 comunidades localizadas entre la zona entre Bribri y Sixaola, y entre Puerto Viejo y Manzanillo (J. Bolaños, UEN Administración de Proyectos, comunicación personal, febrero, 16, 2018).

La dureza total en el agua se debe a varios iones metálicos polivalentes, principalmente cationes de calcio y magnesio. 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, 2011). Por esta razón, se consideró de riesgo bajo (Verde) al sistema de Cahuita que suministró agua con concentraciones de calcio dentro umbral gustativo.

En el 2019, el porcentaje de población de la RHC abastecida con agua de calidad potable aumentó 1,9 puntos porcentuales con respecto al del 2018 (Figura 5.3).

### 4.2.2. Conclusiones

- En el 2019, la RHC suministró agua de calidad potable a 234 657 habitantes mediante 15 sistemas, lo que equivale al 99,1 % de la población de la región.

- En el 2019, el 95,9 % de la población abastecida por la RHC recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 3,1 % de riesgo bajo (Verde); 0,9 % de riesgo intermedio (Amarillo), 0 % de riesgo alto (Naranja), y 0 % de riesgo muy alto (Rojo).

- La calidad no potable del agua de la RHC se debió al incumplimiento de hierro y manganeso en el sistema integrado que abastece HA-A-05-La Guaria del Valle de La Estrella, el cual se consideró de riesgo intermedio (Amarillo).

- El riesgo bajo (Verde) se debió a concentraciones calcio, hierro y manganeso, o concentraciones insuficientes de cloro residual

- Las plantas de remoción de hierro y manganeso en el sistema HA-A-05-La Guaria del Valle de La Estrella no lograron reducir las concentraciones de estos metales a niveles aceptables; por tanto, el agua suministrada por estas plantas se consideró de calidad no potable de riesgo intermedio (Amarillo).

- En el 2019, la cobertura de agua potable en la RHC aumentó 1,9 puntos porcentuales con respecto al 2018.

#### 4.2.3. Recomendaciones

- Optimizar el proceso de remoción de hierro y manganeso en las plantas de los sistemas HA-A-05-La Guaria del Valle de La Estrella y HA-A-01-Acueducto Integrado 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.

- Vigilar los niveles de calcio y conductividad eléctrica en el sistema HA-A-02-Cahutia.

### 4.3. Región Chorotega

#### 4.3.1. Resultados y discusión

En los Cuadros 9.1 al 9.4 de los Apéndices se detallan el número de sistemas de abastecimiento y las poblaciones abastecidas por AyA, de acuerdo con la calidad del agua suministrada. En el Cuadro 9.7 de los Apéndices se enumeran los sistemas de abastecimiento de la Región Chorotega (RCH) junto con su correspondiente calidad, riesgo asociado a ésta y los parámetros incumplidos.

En el 2019, la RCH suministró agua al 8,7 % (211 741 habitantes) del total de la población abastecida por AyA, mediante 55 sistemas clorados. De estos, 51 suministraron agua potable a 208 613 habitantes, lo que corresponde al 98,5 % de la población de la RCH, y cuatro suministraron agua no potable a 3 128 habitantes, que corresponde al 1,5 %.

Con respecto al Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), el 94,8 % de la población abastecida recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 3,7 % de riesgo bajo (Verde); 0,8 % 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.

La calidad no potable del agua de la RCH se debió a la presencia de coliformes fecales, o al incumplimiento de calcio, dureza total y a valores elevados de conductividad eléctrica. Los sistemas donde se detectó la presencia de coliformes fecales, se consideraron de riesgo alto (Naranja). Los sistemas CH-A-05-Bolsón-Ortega y CH-A-29-Barbudal de Colorado presentaron concentraciones de calcio cercanas y superiores a 100 mg/L, de dureza total superiores a 400 mg/L y valores de conductividad eléctrica de (900 y 800) µS/cm respectivamente; estos sistemas se consideraron de riesgo intermedio (Amarillo). El sistema CH-A-43-Bagaces se consideró de riesgo bajo (Verde) porque se detectaron concentraciones de arsénico cercanas al valor máximo admisible de 10 µg/L. En el Cuadro 9.7 de los Apéndices se enumeran los acueductos de calidad no potable para la RHC.

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. Sin embargo, se detectó la presencia de coliformes fecales en agua clorada, inclusive, los sistemas CH-A-07-Portegolpe y CH-A-27-Vergel de Cañas presentaron una negatividad por coliformes fecales inferior a 90 %, considerándose no potable de riesgo alto (Naranja).

La presencia de contaminación fecal 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.

La dureza total en el agua se debe a varios iones metálicos polivalentes, principalmente cationes de calcio y magnesio. 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, 2011).

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. Por esta razón, se consideró de riesgo intermedio (Amarillo) a los sistemas CH-A-05-Bolsón-Ortega y CH-A-29-Barbudal de Colorado.

El arsénico es considerado como una de las sustancias químicas de origen natural de mayor riesgo para la salud del consumidor (OMS, 2011). En fuentes subterráneas donde existan depósitos de minerales de sulfuro y de sedimentarios derivados de rocas volcánicas, las concentraciones de arsénico pueden llegar a ser elevadas (OMS, 2011). El sistema CH-A-43-Bagaces se consideró de riesgo bajo (Verde) debido a las concentraciones de arsénico encontradas en el agua.

En el 2019, el porcentaje de población de la RCH abastecida con agua de calidad potable disminuyó 0,3 puntos porcentuales con respecto al del 2018 (Figura 5.3).

### 4.3.2. Conclusiones

- En el 2019, la RCH suministró agua de calidad potable a 208 613 habitantes mediante 55 sistemas, lo que equivale al 98,5 % de la población de la región.

- En el 2019, el 94,8 % de la población abastecida por la RCH recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 3,7 % de riesgo bajo (Verde); 0,8 % de riesgo intermedio (Amarillo), 0,7 % de riesgo alto (Naranja), y 0 % de riesgo muy alto (Rojo).

- La calidad no potable del agua de la RCH se debió a la presencia de coliformes fecales, o al incumplimiento de calcio, dureza total y a valores elevados de conductividad eléctrica.

- La presencia de contaminación fecal en el agua clorada de los sistemas CH-A-07-Portegolpe y CH-A27-Vergel de Caña, indica un deficiente tratamiento de desinfección.

- Los sistemas CH-A-05-Bolsón-Ortega y CH-A-29-Barbudal de Colorado presentaron concentraciones de calcio cercanas y superiores a 100 mg/L, de dureza total superiores a 400 mg/L y valores de conductividad eléctrica de (900 y 800) µS/cm respectivamente; estos sistemas se consideraron no potable de riesgo intermedio (Amarillo).

- El riesgo bajo (Verde) se debió a concentraciones de arsénico cercanas al valor máximo admisible en el sistema CH-A-43-Bagaces.

- En el 2019, la cobertura de agua potable en la RCH disminuyó 0,3 puntos porcentuales con respecto al 2018.

#### 4.3.3. Recomendaciones

- Apegarse al Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, elaborado por la Comisión de Potabilización del AyA, en el caso de los sistemas CH-A-05-Bolsón-Ortega y CH-A-29-Barbudal de Colorado.

- Realizar inspecciones sanitarias de las estructuras de los sistemas 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.

### 4.4. Región Central

#### 4.4.1. Resultados y discusión

En los Cuadros 9.1 al 9.4 de los Apéndices se detallan el número de sistemas de abastecimiento y las poblaciones abastecidas por AyA, de acuerdo con la calidad del agua suministrada. En el Cuadro 9.8 de los Apéndices se enumeran los sistemas de abastecimiento de la Región Central (RC) junto con su correspondiente calidad, riesgo asociado a ésta y los parámetros incumplidos.

En el 2019, la RC suministró agua al 8,6 % (207 400 habitantes) del total de la población abastecida por AyA, mediante 33 sistemas clorados y tres no clorados. De estos 36 sistemas, 32 suministraron agua potable a 207 275 habitantes, lo que corresponde al 99,9 % de la población de la RC, y cuatro suministraron agua no potable a 125 habitantes, que corresponde al 0,1 %.

Con respecto al Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), el 99,89 % de la población abastecida recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 0,05 % de riesgo bajo (Verde); 0 % de riesgo intermedio (Amarillo), 0,06 % 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.

La calidad no potable del agua de la RC se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos. Los tres sistemas no clorados suministraron agua no potable, mientras que, solo un sistema clorado suministró agua no potable por presencia de coliformes fecales. En el sistema CO-A-Quebrada La Plata se detectó, además, valores de color aparente por encima del valor máximo admisible; por lo que el riesgo pasó a ser muy alto (Rojo). Adicionalmente, el riesgo bajo (Verde) se debió a concentraciones insuficientes de cloro residual. En el Cuadro 9.8 de los Apéndices se enumeran los acueductos de calidad no potable para la RC.

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 resultados evidencian la importancia de la correcta aplicación del cloro en el agua, dado que solo un sistema clorado incumplió con los criterios microbiológicos; mientras que, todos los sistemas no clorados incumplieron con estos criterios.

Los sistemas no clorados abastecieron comunidades del cantón de Turrubares. La mayoría de estos sistemas 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 sistema de San Pedro y San Pablo de Turrubares; es decir, no pueden ser abastecidas por este sistema 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 considerablemente pequeña de 62 habitantes. El AyA suministra agua potable por medio de camiones cisterna a los sectores de la población abastecida por estos acueductos, dos veces por semana, proveniente del sistema de San Pedro y San Pablo de Turrubares; no obstante, se considera una medida temporal. Por lo tanto, la solución definitiva para suministrar agua potable a estos ciudadanos debe ser prioridad en la agenda 2020 de la RC.

El sistema CO-A-42-Paco Rodríguez de Palmares fue el sistema clorado de calidad

no potable, por presencia de coliformes fecales. Esta situación 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.

En el 2019, el porcentaje de población de la RC abastecida con agua de calidad potable aumentó 0,8 puntos porcentuales con respecto al del 2018 (Figura 5.3).

### 4.4.2. Conclusiones

- En el 2019, la RC suministró agua de calidad potable a 207 275 habitantes mediante 36 sistemas, lo que equivale al 99,9 % de la población de la región.

- En el 2019, el 99,89 % de la población abastecida por la RC recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 0,05 % de riesgo bajo (Verde); 0 % de riesgo intermedio (Amarillo), 0,06 % de riesgo alto (Naranja), y 0 % de riesgo muy alto (Rojo).

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

- La acción desinfectante del cloro desempeñó un papel importante en la calidad microbiológica del agua, dado que en todos los sistemas no clorados se detectó la presencia de coliformes fecales; mientras que, solo en un sistema clorado se detectó la presencia.

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

- El riesgo bajo (Verde) se debió a concentraciones insuficientes de cloro residual.

- El sistema clorado CO-A-42-Paco Rodríguez de Palmares presentó contaminación fecal, por lo que se consideró no potable de riesgo alto (Naranja).

- En el sistema CO-A-Quebrada La Plata se detectaron, además de coliformes fecales, valores de color aparente por encima del valor máximo admisible, por lo que el riesgo pasó a ser muy alto (Rojo).

- En el 2019, la cobertura de agua potable en la RC aumentó 0,8 puntos porcentuales con respecto al 2018.

#### 4.4.3. Recomendaciones

- Potabilizar las fuentes superficiales no cloradas, del cantón de Turrubares, o bien, buscar nuevas fuentes de abastecimiento con caudal suficiente para abastecer la demanda, 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.

- Realizar inspecciones sanitarias de las estructuras del sistema 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.

### 4.5. Región Brunca

#### 4.5.1. Resultados y discusión

En los Cuadros 9.1 al 9.4 de los Apéndices se detallan el número de sistemas de abastecimiento y las poblaciones abastecidas por AyA, de acuerdo con la calidad del agua suministrada. En el Cuadro 9.9 de los Apéndices se enumeran los sistemas de abastecimiento de la Región Brunca (RB) junto con su correspondiente calidad, riesgo asociado a ésta y los parámetros incumplidos.

En el 2019, la RB suministró agua al 7,8 % (188 092 habitantes) del total de la población abastecida por AyA, mediante 27 sistemas clorados. De estos sistemas, 24 suministraron agua potable a 171 635 habitantes, lo que corresponde al 91,3 % de la población de la RB, y tres suministraron agua no potable a 16 457 habitantes, que corresponde al 8,7 %.

Con respecto al Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), el 87,4 % de la población abastecida recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 3,9 % de riesgo bajo (Verde); 0 % de riesgo intermedio (Amarillo), 8,6 % 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.

La calidad no potable del agua de la RB se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos en los sistemas BR-A-10-Palmar Norte-Palmar Sur, BR-A-12.4-La Cuesta-Laurel y BR-A-13-Coto 44; este último sistema presentó valores de hierro, manganeso, color aparente, amonio y potasio por encima del valor máximo admisible, además de niveles de conductividad eléctrica de 700 µS/cm. Los sistemas donde se detectó la presencia de coliformes fecales fueron consideraron de riesgo alto (Naranja), con la excepción del sistema BR-A-13-Coto 44, que fue considerado de riesgo muy alto (Rojo), ya que incumple con varios parámetros. El sistema de BR-A-08-Ciudad Cortés presentó niveles de color aparente por encima del reglamentado, por lo que fue considerado de riesgo bajo (Verde). En el Cuadro 9.9 de los Apéndices se enumeran los acueductos de calidad no potable para la RB.

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.

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 de hierro mayores de 300 µg/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 400 µg/L de manganeso, sus efectos sobre la salud no han sido confirmados, y se debe demostrar que la ingesta de manganeso causa afectaciones en la salud (asociación causal). Concentraciones superiores a 50 µg/L pueden generar una coloración negra o café, causar un sabor desagradable y manchas en la ropa y loza sanitaria (EPA, 2017). Asimismo, el manganeso en el agua puede precipitar y como resultado, se acumulan sedimentos en la red de distribución.

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). 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).

En el 2019, el porcentaje de población de la RB abastecida con agua de calidad potable disminuyó 1,9 puntos porcentuales con respecto al del 2018 (Figura 5.3).

### 4.5.2. Conclusiones

- En el 2019, la RB suministró agua de calidad potable a 171 635 habitantes mediante 24 sistemas, lo que equivale al 91,3 % de la población de la región.

- En el 2019, el 87,4 % de la población abastecida por la RB recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 3,9 % de riesgo bajo (Verde); 0 % de riesgo intermedio (Amarillo), 8,6 % de riesgo alto (Naranja), y 0,1 % de riesgo muy alto (Rojo).

- La calidad no potable del agua de la RB se debió principalmente al incumplimiento de los criterios microbiológicos.

- Los sistemas con presencia de coliformes fecales fueron BR-A-10-Palmar Norte-Palmar Sur, BR-A-12.4-La Cuesta-Laurel y BR-A-13-Coto 44.

- El sistema BR-A-13-Coto 44 presentó valores de hierro, manganeso, color

aparente, amonio y potasio por encima del valor máximo admisible, además de niveles de conductividad eléctrica de 700 µS/cm; por lo que el riesgo pasó a ser muy alto (Rojo).

- El riesgo bajo (Verde) se debió a niveles de color aparente por encima del reglamentado en el sistema BR-A-08-Ciudad Cortés.

- La presencia de un residual de cloro libre en el agua no garantiza la ausencia de contaminación bacteriana.

- En el 2019, la cobertura de agua potable en la RB disminuyó 1,9 puntos porcentuales con respecto al 2018.

#### 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 sistemas 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.

- Apegarse al Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, elaborado por la Comisión de Potabilización del AyA, en el caso del sistema BR-A-13-Coto 44.

### 4.6. Región Pacífico Central

#### 4.6.1. Resultados y discusión

En los Cuadros 9.1 al 9.4 de los Apéndices se detallan el número de sistemas de abastecimiento y las poblaciones abastecidas por AyA, de acuerdo con la calidad del agua suministrada. En el Cuadro 9.10 de los Apéndices se enumeran los sistemas de abastecimiento de la Región Pacífico Central (RPC) junto con su correspondiente calidad, riesgo asociado a ésta y los parámetros incumplidos.

En el 2019, la RPC suministró agua al 6,8 % (165 745 habitantes) del total de la población abastecida por AyA, mediante 23 sistemas clorados y un sistema no clorado. De los 24 sistemas, 19 suministraron agua potable a 158 761 habitantes, lo que corresponde al 95,8 % de la población de la RPC, y cinco suministraron agua no potable a 6 984 habitantes, que corresponde al 4,2 %.

Con respecto al Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), el 90,5 % de la población abastecida recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 5,2 % de riesgo bajo (Verde); 2,9 % de riesgo intermedio (Amarillo), 1,1 % de riesgo alto (Naranja), y 0,3 % 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.

La calidad no potable del agua de la RPC se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos, de hierro y manganeso, o de aluminio junto con valores de pH muy bajos. Los sistemas, donde se detectó presencia de coliformes fecales, fueron PC-A-13-Cerillos-San Jerónimo y PC-A-20-El Llano de San Miguel de Barranca; éstos se consideraron de riesgo alto (Naranja). El sistema PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla presentó concentraciones de aluminio superiores a 1 mg/L y valores de pH por debajo de 4,5, por lo que fue considerado de calidad no potable de riesgo muy alto (Rojo). Los sistemas PC-A-33-Arío-Santa Teresa de Cóbano y PC-A-28-Esterillos de Parrita presentaron concentraciones de hierro y manganeso mayores a 0,5 mg/L, por lo que fueron considerados de calidad no potable de riesgo intermedio (Amarillo). En el Cuadro 9.10 de los Apéndices se enumeran los acueductos de calidad no potable para la RHC.

La presencia de coliformes fecales en agua clorada, supone 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.

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 representan 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 de hierro mayores de 300 µg/L, el agua puede teñir y dañar las tuberías y la ropa cuando se lava.

Aunque las guías de la OMS establecen un valor de referencia para la salud de 400 µg/L de manganeso, sus efectos sobre la salud no han sido confirmados, y aún está pendiente de ser demostrado que la ingesta de manganeso causa afectaciones en la salud (asociación causal). Concentraciones superiores a 50 µg/L pueden generar una coloración negra o café, causar un sabor desagradable y manchas en la ropa y loza sanitaria (EPA, 2017). Asimismo, el manganeso en el agua puede precipitar y como resultado, se acumulan sedimentos en la red de distribución. Por esta razón, los sistemas PC-A-33-Arío-Santa Teresa de Cóbano y PC-A-28-Esterillos de Parrita se consideraron de riesgo intermedio (Amarillo).

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 incierto, ya que depende de otros 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 tanto, el riesgo a la salud aumenta cuando se reportan metales, como el aluminio, en agua con pH ácido, tal como se observa en el sistema de PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla.

La UEN de Investigación y Desarrollo del AyA estableció para el sistema PC-A-21-

Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla una planta piloto para la remoción de aluminio, mediante una resina de intercambio iónico, además de ajustes en el pH y un sistema de filtración, con la finalidad de mejorar el agua que se distribuye a la comunidad (J. Merizalde, UEN Investigación y Desarrollo, comunicación personal, septiembre, 19, 2016). Actualmente, el sistema cuenta con una planta de remoción, puesta en marcha a partir del 2018 (R. Barboza, Subgerencia de Sistemas Periféricos, comunicación personal, marzo, 25, 2019). Sin embargo, la operación de la planta ha sido deficiente y, por consiguiente, las concentraciones de aluminio no fueron removidas adecuadamente.

En el 2019, el porcentaje de población de la RPC abastecida con agua de calidad potable disminuyó 1,8 puntos porcentuales con respecto al del 2018 (Figura 5.3).

### 4.6.2. Conclusiones

- En el 2019, la RPC suministró agua de calidad potable a 158 761 habitantes mediante 19 sistemas, lo que equivale al 95,8 % de la población de la región.

- En el 2019, el 90,5 % de la población abastecida por la RPC recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 5,2 % de riesgo bajo (Verde); 2,9 % de riesgo intermedio (Amarillo), 1,1 % de riesgo alto (Naranja), y 0,3 % de riesgo muy alto (Rojo).

- La calidad no potable del agua de la RPC se debió al incumplimiento de los criterios microbiológicos, de hierro y manganeso, o de aluminio junto con valores de pH muy bajos.

- Los sistemas con presencia de coliformes fecales fueron PC-A-13-Cerillos-San Jerónimo y PC-A-20-El Llano de San Miguel de Barranca; éstos se consideraron de riesgo alto (Naranja).

- El sistema PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla presentó concentraciones de aluminio superiores a 1 mg/L y valores de pH por debajo de 4,5, por lo que fue considerado de calidad no potable de riesgo muy alto (Rojo).

- Los sistemas PC-A-33-Arío-Santa Teresa de Cóbano y PC-A-28-Esterillos de Parrita suministraron agua de calidad no potable, debido a concentraciones de hierro y manganeso por encima de 0,5 mg/L, por lo que se consideraron de riesgo intermedio (Amarillo).

- La presencia de un residual de cloro libre en el agua no garantiza la ausencia de contaminación bacteriana.

- La planta de Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla no operó de forma adecuado para remover las concentraciones de aluminio.

- En el 2019, la cobertura de agua potable en la RPC disminuyó 1,8 puntos porcentuales con respecto al 2018.

### 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.

- Realizar inspecciones sanitarias de las estructuras de los sistemas 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.

- Apegarse al Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, elaborado por la Comisión de Potabilización del AyA, en el caso de los sistemas PC-A-33-Arío-Santa Teresa de Cóbano y PC-A-28-Esterillos de Parrita.

- Revisar la operación de la planta de remoción de aluminio en Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla, y mejorar los controles operativos.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERALES

La evaluación de los parámetros del agua está basada en análisis puntuales, realizados en un momento y lugar específico. Los resultados de los análisis puntuales se pueden solicitar al Laboratorio Nacional de Aguas. La consulta de éstos resulta imprescindible para ubicar las fechas y los puntos de muestreo de las evaluaciones en los que se detectaron inconformidades al Reglamento de Calidad para el Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S).

No todos los sistemas evaluados cuentan con igual número de muestras recolectadas (ver criterios en sección *1.1 Muestreo*). Entre mayor sea el número de muestras recolectadas, mayor conocimiento se tendrá de las características del agua. 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.

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 que la lluvia arrastra consigo partículas de tierra hasta el cuerpo de agua. En la época seca el caudal de las fuentes tiende a disminuir, y como resultado se obtienen mayores concentraciones de los elementos naturales (hierro, magnesio, manganeso, aluminio, arsénico, entre otros).

### 5.1. Cobertura de agua potable

En los Cuadros 9.1 al 9.4 de los Apéndices se detallan el número de sistemas de abastecimiento y las poblaciones abastecidas por AyA, de acuerdo con la calidad del agua suministrada. En los Cuadros 9.6 al 9.10 de los Apéndices se enumeran los sistemas de abastecimiento junto con su correspondiente calidad, riesgo asociado a ésta y los parámetros incumplidos.

Para el 2019, el 98,4 % de la población abastecida por AyA recibió agua de calidad potable mediante 187 sistemas de abastecimiento, lo que equivale a 2 383 981 habitantes; el restante 1,6 % recibió agua no potable por medio de 28 sistemas, lo que equivale a 39 679 habitantes.

El AyA operó 11 sistemas no clorados, de los cuales nueve se ubican en la provincia de San José: cinco en el cantón de Escazú, tres en Turrubares y uno en Alajuelita; y los restantes dos sistemas no clorados se ubican, uno en el cantón Guácimo de Limón, y el otro en el cantón de Parrita de Puntarenas. La provincia con mayor número de personas abastecidas por sistemas operados por AyA fue San José con 1 446 853 habitantes; mientras que Cartago y Heredia presentaron la menor cantidad de habitantes abastecidos por AyA, siendo 27 163 y 32 946 habitantes respectivamente. Los sistemas operados por AyA en Heredia, Cartago y Alajuela abastecieron con agua potable al 100 % de su población. Puntarenas fue la provincia que presentó la menor cobertura de agua

potable, con un 91,1 %. La Figura 5.1 muestra los porcentajes de potabilidad para cada provincia en el 2019.

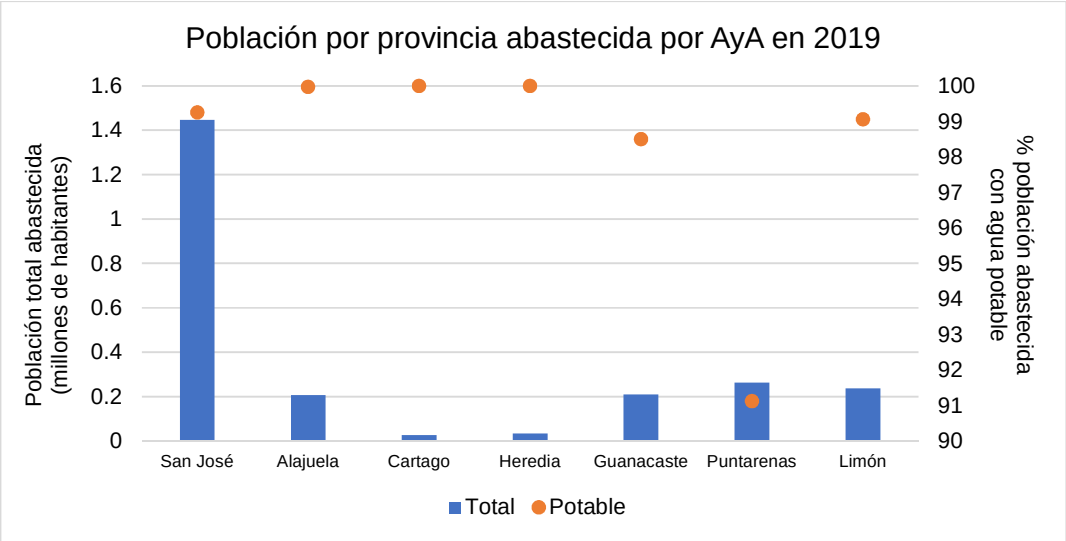


**Figura 5.1.** Población abastecida por sistemas operados por AyA según calidad de agua por provincia durante en el 2019.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

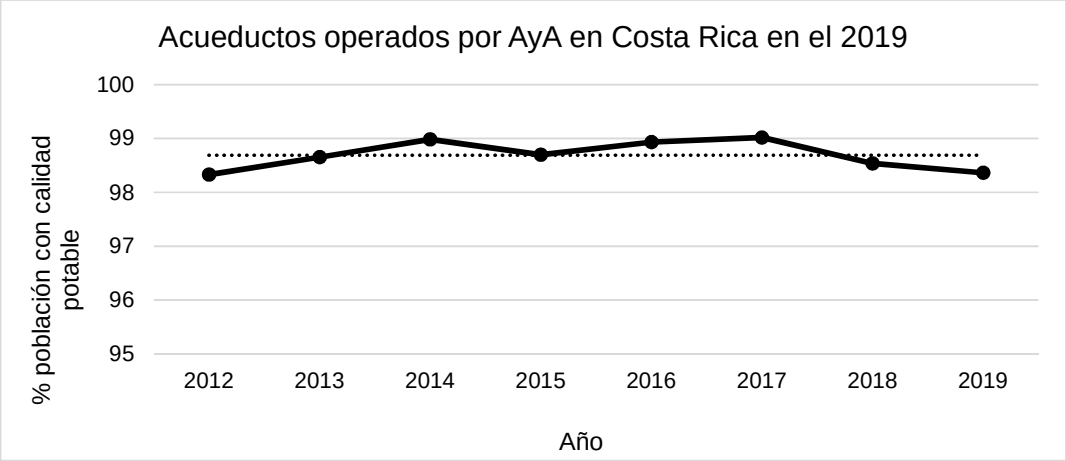


**Figura 5.2.** Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en acueductos del AyA en los últimos ocho años.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

En términos generales, el porcentaje de potabilidad del agua suministrada por AyA se ha mantenido constante en los últimos ocho años, fluctuando entre 98-99 %. En el 2019, el porcentaje de población abastecida con agua de calidad potable proveniente de sistemas operados por AyA disminuyó 0,1 puntos porcentuales con respecto al 2018 (Figura 5.2). La región operativa que presentó la mayor cobertura con agua potable fue la RC con 99,9 %; mientras que, la RB presentó la menor cobertura con 91,3 % (Figura 5.3).

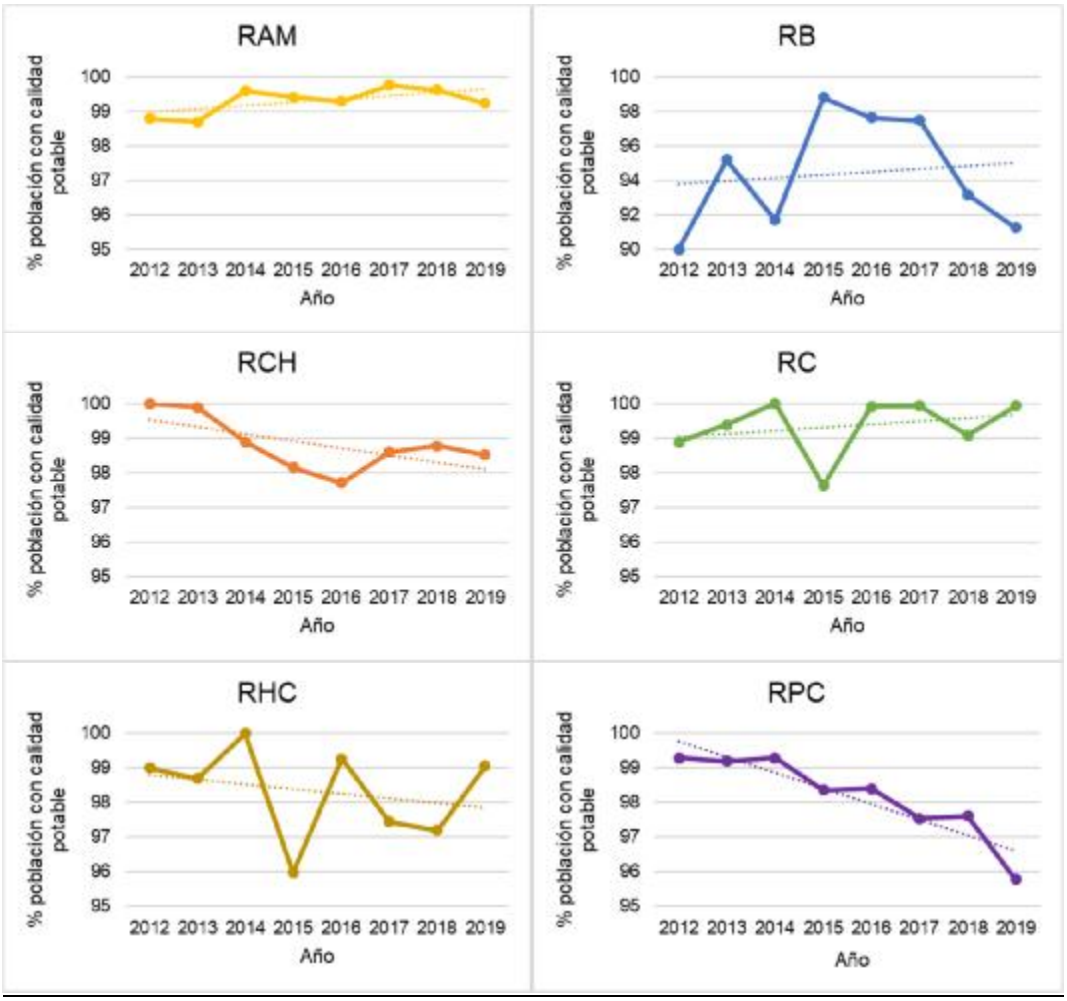


**Figura 5.3.** Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable en cada región del AyA en los últimos ocho años.

RAM: Región Área Metropolitana, RB: Región Brunca, RC: Región Central, RCH: Región Chorotega, RHC: Región Huetar Caribe, y RPC: Región Pacífico Central.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

### 5.2. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH)

De acuerdo con el IRCACH, el 97,1 % de la población abastecida por AyA recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 1,3 % de riesgo bajo (Verde); 0,4 % de riesgo intermedio (Amarillo), 1,1 % 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 sistemas que incumplieron con los criterios microbiológicos fue considerado alto (Naranja). Sin embargo, en los sistemas clorados, donde se detectó una ineficiente cloración junto con la presencia de coliformes fecales, el riesgo aumentó a muy alto (Rojo). Este riesgo muy alto (Rojo) se debió también a concentraciones de aluminio superiores al valor de referencia para la salud y valores bajos de pH. En el caso del riesgo intermedio (Amarillo), se debió a distintos incumplimientos: altas concentraciones de hierro y manganeso, concentraciones de calcio superiores al valor máximo admisible aunado a conductividades de 900 µS/cm, o turbiedades mayores a 8 UNT. Por otro lado, el riesgo bajo (Verde) se debió a concentraciones nulas o insuficientes de cloro, concentraciones de calcio y sulfatos superiores al valor máximo admisible, suma de concentraciones de hierro y manganeso entre (300-500) µg/L, o concentraciones de arsénico cercanas al valor máximo admisible.

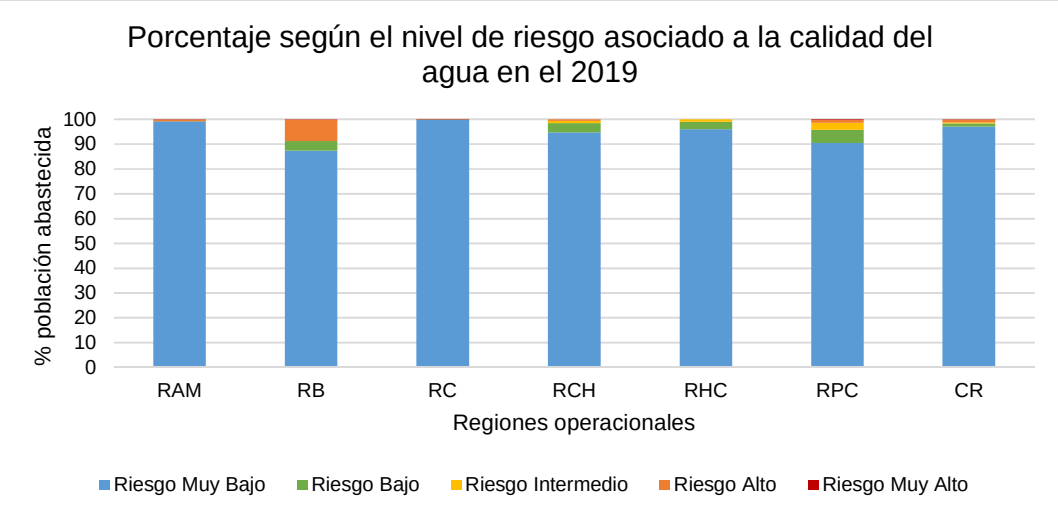


**Figura 5.4.** Porcentajes de población abastecida según el nivel de riesgo asociado a la calidad del agua en el 2018.

RAM: Región Área Metropolitana, RB: Región Brunca, RC: Región Central, RCH: Región Chorotega, RHC: Región Huetar Caribe, RPC: Región Pacífico Central, y CR: Costa Rica.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

### 5.3. Parámetros incumplidos

Para efectos del presente informe, se consideran parámetros microbiológicos los coliformes fecales y el cloro libre. Los coliformes fecales son indicadores de contaminación fecal, cuya presencia en el agua representa un alto riesgo para la salud, debido a que se asocia con una mayor probabilidad de encontrar patógenos (OMS, 2011). El cloro es añadido al agua durante el proceso de desinfección, y éste incide directamente en la presencia de microorganismos en el agua. En el 2018, un 99,8 % de la población abastecida por sistemas operados por AyA recibió agua clorada (Cuadro 1.1).

La presencia de coliformes fecales fue la principal causa del deterioro de la calidad del agua de los sistemas operados por AyA en el 2019. De los 28 sistemas que suministraron agua de calidad no potable, 21 debieron su mala calidad a la presencia de coliformes fecales. Aproximadamente, 30 306 habitantes se abastecieron de agua con presencia de coliformes fecales. Los sistemas de abastecimiento considerados de calidad no potable por contaminación fecal, se detallan en el Cuadro 5.1.

**Cuadro 5.1.** Sistemas de abastecimiento con calidad no potable por presencia de coliformes fecales durante el 2019.

| |
|---|
| **Región Metropolitana** |
| ME-A-22-PIZOTE (SAN PEDRO) |
| ME-A-24.1-CANGREJAL DE MATINILLA |
| ME-A-25.6-ESCAZÚ: SISTEMA LA MINA |
| ME-A-30-JERICÓ DE DESAMPARADOS |
| ME-A-25.2-CUESTA CALDERONES DE ESCAZÚ |
| ME-A-25.3-BEBEDERO DE ESCAZÚ: SECTOR NO CLORADO |
| ME-A-25.4-CALLE EL ALTO DE ESCAZÚ (NO CLORADO) |
| ME-A-25.5-CALLE HIGUERONES DE ESCAZÚ (NO CLORADO) |
| ME-A-25.8-SAN ANTONIO DE ESCAZÚ: SECTOR LOS ROQUES |
| ME-A-18-LÁMPARAS DE SAN ANTONIO DE ALAJUELITA |
| **Región Chorotega** |
| CH-A-07-PORTEGOLPE |
| CH-A-27-VERGEL DE CAÑAS |

**Cuadro 5.1.** Sistemas de abastecimiento con calidad no potable por presencia de coliformes fecales durante el 2019.

| |
|---|
| **Región Central** |
| CO-A-42-PACO RODRIGUEZ DE PALMARES |
| CO-A-27-PURIRES ARRIBA (NO CLORADO) |
| CO-A-28-PURIRES ABAJO (NO CLORADO) |
| CO-A-31-QUEBRADA LA PLATA (NO CLORADO) |
| **Región Brunca** |
| BR-A-10-PALMAR NORTE-PALMAR SUR |
| BR-A-12.4-LA CUESTA - LAUREL |
| BR-A-13-COTO 44 |
| **Región Pacífico Central** |
| PC-A-13-CERRILLOS-SAN JERÓNIMO |
| PC-A-20-EL LLANO DE SAN MIGUEL DE BARRANCA |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

En la Figura 5.5 se observa los porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable y no potable. Un 98,6 % de la población abastecida por sistemas clorados recibió agua potable, mientras que, en el caso de los sistemas no clorados, un 0,5 % recibió agua potable. El bajo porcentaje de potabilidad de los sistemas no clorados se debió mayormente al incumplimiento de los criterios microbiológicos.

Como se observa en la Figura 5.5, el cloro tuvo un papel crucial sobre la presencia de coliformes fecales en el agua, una adecuada concentración de cloro protege de una posible contaminación microbiana. Sin embargo, la presencia de cloro no garantiza la ausencia de coliformes fecales, puesto que, se detectó la presencia de coliformes fecales en 12 sistemas clorados. Tampoco es posible afirmar que la ausencia del desinfectante implica la presencia de coliformes fecales, ya que uno de los sistemas no clorados suministró agua potable con ausencia de coliformes fecales. De igual forma, no todos los sistemas con instalaciones para la aplicación de cloro mantuvieron un proceso de desinfección eficiente ni constante, ya que seis sistemas clorados presentaron concentraciones inferiores a 0,3 mg/L.

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.

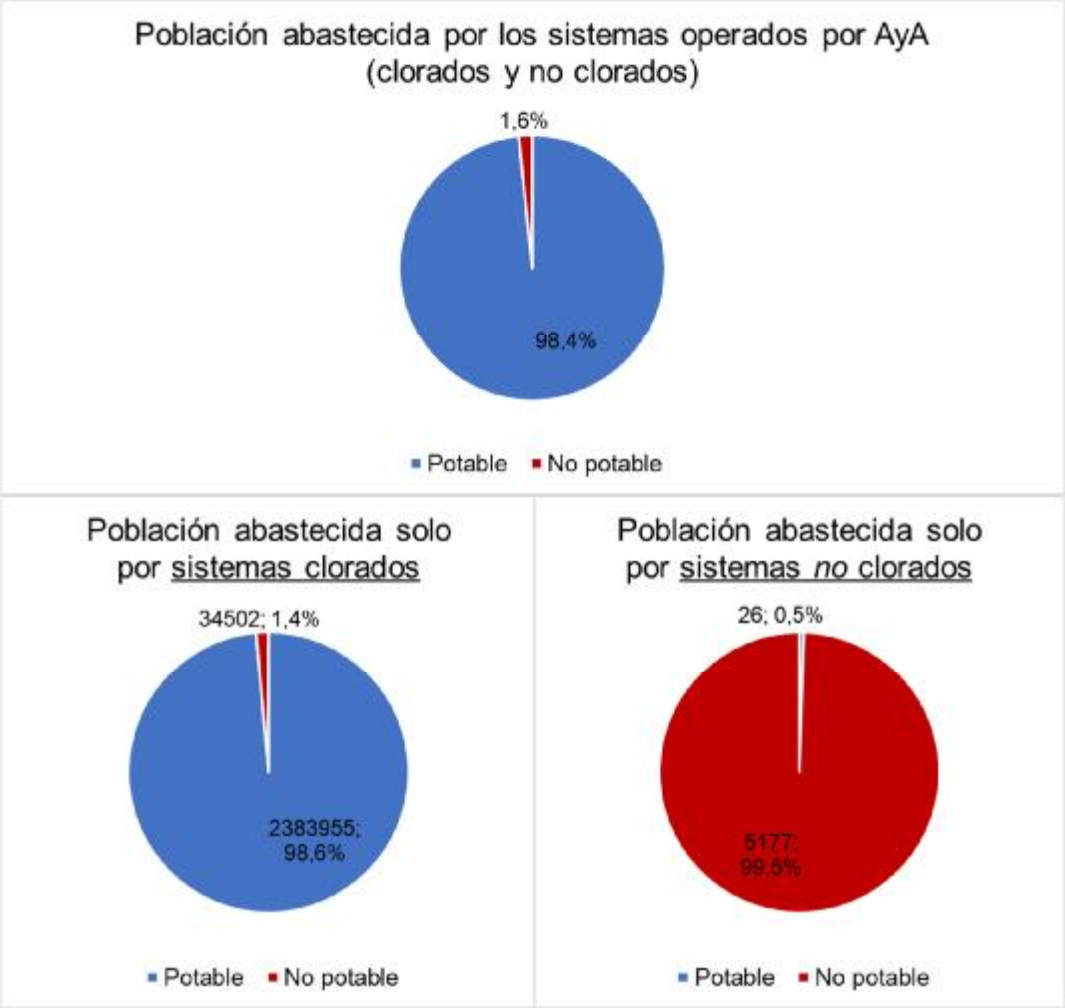


**Figura 5.5.** Porcentajes de población abastecida con agua de calidad potable y no potable de acueductos operados por AyA en el 201.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Aunque la ingesta de agua cruda implica un grave riesgo para la salud de los consumidores, para el 2019 el AyA contó con 17 fuentes de abastecimiento superficiales sin tratamiento de potabilización. Estas fuentes abastecen, tanto a sistemas no clorados, como a sistemas donde aplican cloración a pesar de no recibir el agua ningún previo tratamiento para disminuir la turbiedad.

Una gran parte de los sistemas no clorados, que abastecieron comunidades en Alajuelita, Escazú y Turrubares, utilizaron fuentes superficiales de muy bajo caudal que fueron captadas y enviadas directamente a la red de distribución sin tratamiento alguno, ya que no cuentan con infraestructura de potabilización apropiada. En el caso de la RHC, la comunidad de Las Delicias de Pocora fue abastecida por la naciente Nueva La Calzada, ubicada aguas arriba de donde se realiza la cloración; por lo tanto, la comunidad no se abastece con agua clorada, 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 (J. Matarrita, Departamento de Producción y Distribución de la RHA, comunicación personal, febrero, 5, 2018). Lo mismo ocurre con las comunidades en Turrubares de la RC, que se encuentran fuera de la zona de presión de los tanques del sistema clorado de San Pedro y San Pablo (D. Agüero y A. Ulloa, Oficina de Turrubares de AyA, comunicación personal, mayo, 5, 2017).

Los sistemas no clorados abastecieron a una población reducida (5 203 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 medida temporal, 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 debería ser prioridad en la agenda 2020.

La presencia de coliformes fecales fue el incumplimiento con mayor incidencia en el 2019, con 21 casos de incumplimiento, seguido de concentraciones de hierro y manganeso superiores a 300 µg/L, con ocho casos de incumplimiento y, en tercer lugar, niveles elevados de turbiedad y color aparente. Es importante hacer la distinción entre casos de incumplimiento y número de sistemas que incumplen alguno de los parámetros; ya que los casos de incumplimiento se evalúan para cada parámetro, y un mismo sistema podría tener más de un parámetro que incumpla. En la Figura 5.6 se muestran el número de casos de incumplimiento por parámetro.

Los incumplimientos por parámetros fisicoquímicos fueron hierro y manganeso, color y turbiedad, calcio, aluminio, amonio, pH y sulfatos. Los incumplimientos por turbiedad y color aparente se agruparon, ya que ambos son indicadores de partículas dispersas o de compuestos disueltos en el agua (para el caso del color verdadero). Se considera incumplimiento de pH a los valores fuera del ámbito 5,5 a 8,5, recomendado en el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH).

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 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 de hierro mayores de 300 µg/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 400 µg/L de manganeso, sus efectos sobre la salud no han sido confirmados, y se debe demostrar que la ingesta de manganeso causa afectaciones en la salud (asociación causal). Concentraciones superiores a 50 µg/L pueden generar una coloración negra o café, causar un sabor desagradable y manchas en la ropa y loza sanitaria (EPA, 2017). Asimismo, el manganeso en el agua puede precipitar y como resultado, se acumulan sedimentos en la red de distribución.

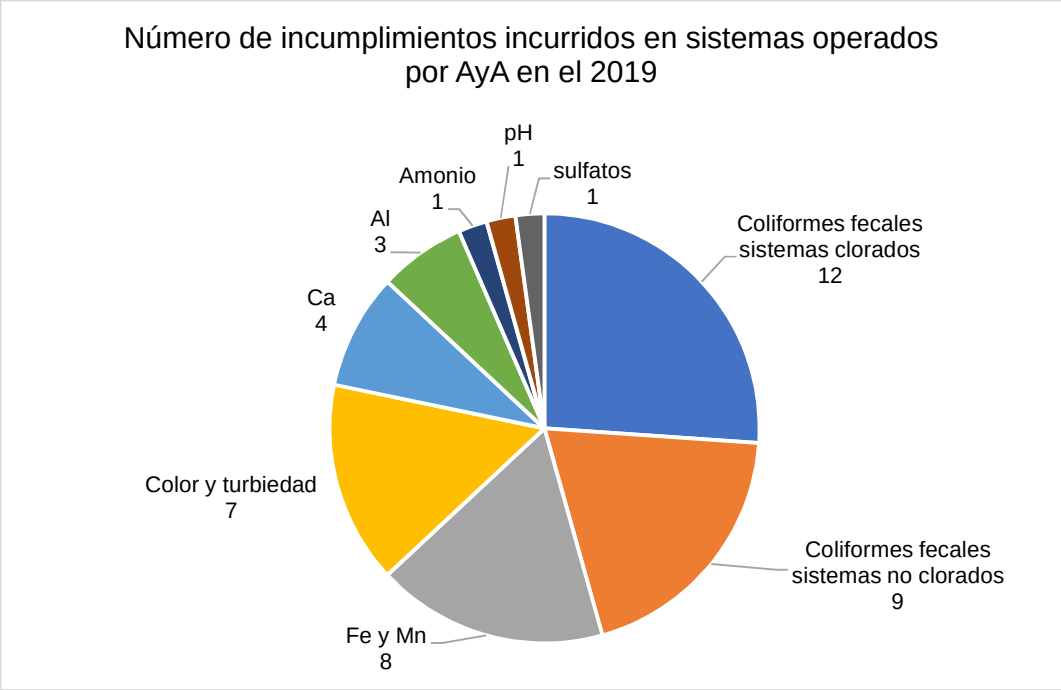


**Figura 5.6.** Número de casos de incumplimientos incurridos en sistemas operados por AyA de los distintos parámetros en el 2019.

Fe: hierro, Mn: manganeso, Al: aluminio, y Ca: calcio.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Aproximadamente 17 233 habitantes se abastecieron por sistemas que incumplieron con las concentraciones de hierro y manganeso en el agua. Los cantones donde se ubican los sistemas que incumplieron con las concentraciones de hierro y manganeso fueron Escazú (sistemas no clorados), Corredores, Parrita, Puntarenas, Limón y Talamanca.

Los sistemas que suministraron agua con concentraciones de hierro y manganeso mayores a 500 µg/L se consideraron de calidad no potable. Esta situación se presenta en los sistemas PC-A-33-Arío-Santa Teresa de Cóbano, HA-A-05-La Guaria del Valle de La Estrella y PC-A-28-Esterillos de Parrita, donde el riesgo asociado a la calidad del agua fue intermedio (Amarillo), debido al cambio en las propiedades organolépticas del agua que puede generar rechazo por parte de los consumidores. Por otro lado, los sistemas BR-A-13-Coto 44, ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú y ME-A-25.5-Calle Higuerones de Escazú suministraron agua no potable que incumplió, además de las concentraciones de hierro y manganeso, otros parámetros como coliformes fecales, color aparente, turbiedad, amonio o aluminio; por lo que se consideraron de riesgo muy alto (Rojo). Los sistemas HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo y PC-A-16-Parrita suministraron agua de calidad potable con un riesgo bajo (Verde), debido a que las concentraciones de hierro y manganeso oscilaron entre (300-500) µg/L.

El AyA cuenta con una planta de remoción de hierro y manganeso del agua del pozo 1 de Sand Box, que abastecen al HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo. No obstante, el agua en la red de distribución presentó concentraciones de hierro y manganeso superiores a 300 µg/L. El sistema HA-A-05-La Guaria del Valle de La Estrella también cuenta con una planta de remoción que no logró mermar las concentraciones de hierro y manganeso por debajo de 300 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).

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. 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 (J. Bolaños, UEN Administración de Proyectos, comunicación personal, febrero, 16, 2018).

Con respecto al incumplimiento de turbiedad y color aparente, muchos de los sistemas que incumplieron con alguno de estos parámetros fueron abastecidos por fuentes superficiales sin tratamiento ni cloración e incumplieron, además, con otros parámetros como coliformes fecales, aluminio, hierro y manganeso. El sistema ME-A-05.2-Chirracal presentó niveles de turbiedad por encima de 8 UNT, por lo que se consideró de riesgo intermedio (Amarillo). El sistema de BR-A-08-Ciudad Cortés presentó niveles de color aparente por encima del reglamentado, por lo que fue considerado potable de riesgo bajo (Verde). La población abastecida con agua que presentó incumplimientos en los niveles de color aparente y/o turbiedad fue de aproximadamente 8 274 habitantes.

La dureza total en el agua se debe a varios iones metálicos polivalentes, principalmente cationes de calcio y magnesio. 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, 2011). Por esta razón, los sistemas HA-A-02-Cahuita y PC-A-10-San Mateo se consideraron de calidad potable de riesgo bajo (Verde), por suministrar agua con con concentraciones de calcio superiores a 100 mg/L.

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. Los sistemas CH-A-05-Bolsón-Ortega y CH-A-29-Barbudal de Colorado se consideraron de calidad no potable de riesgo intermedio (Amarillo), debido a las concentraciones de calcio superiores a 100 mg/L, aunado a los elevados niveles de conductividad eléctrica y dureza total.

Aproximadamente 6 372 habitantes se abastecieron por sistemas que incumplieron con las concentraciones de calcio en el agua. Los cantones donde se ubican los sistemas que incumplieron con las concentraciones de calcio fueron Abangares, Santa Cruz, Talamanca y San Mateo.

Según 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, dado 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), se definió un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 0,9 mg/L, para lo cual se le atribuye un 20 % del PTWI al agua para consumo y se utiliza como referencia un adulto de 60 kg que ingiere al día 2 L de agua.

Aproximadamente 914 habitantes se abastecieron por sistemas que incumplieron con las concentraciones de aluminio en el agua. Los cantones donde se ubican los sistemas que incumplieron con las concentraciones de aluminio fueron Puntarenas y Escazú.

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 tanto, el riesgo a la salud aumenta cuando se reportan metales, como el aluminio, en agua con pH ácido, tal como se observa en el sistema de PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla. Este sistema fue considerado de calidad no potable de riesgo muy alto (Rojo), debido al efecto adverso sobre la salud de los consumidores que pueden generar las concentraciones de aluminio superiores a 900 µg/L en el agua.

La UEN de Investigación y Desarrollo del AyA estableció para el sistema PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla una planta piloto para la remoción de aluminio, mediante una resina de intercambio iónico, además de ajustes en el pH y un sistema de filtración, con la finalidad de mejorar el agua que se distribuye a la comunidad (J. Merizalde, UEN Investigación y Desarrollo, comunicación personal, septiembre, 19, 2016). Actualmente, el sistema cuenta con una planta de remoción, puesta en marcha a partir del 2018 (R. Barboza, Subgerencia de Sistemas Periféricos, comunicación personal, marzo, 25, 2019). Sin embargo, la operación de la planta ha sido deficiente y, por consiguiente, las

concentraciones de aluminio no fueron removidas adecuadamente.

El sulfato de aluminio se utiliza como coagulante-floculante en las plantas potabilizadoras 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 continúa interactuando con las partículas en el agua (OMS, 2011). La planta de Guadalupe, a pesar de presentar un dato puntual de aluminio superior a 1 mg/L en octubre, mantuvo las concentraciones por debajo de 0,2 mg/L en el resto de las muestras. Por lo tanto, el riesgo asociado a la calidad del agua fue considerado muy bajo (Azul) para el 2019.

El amonio el 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). 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 agua suministrada por el sistema BR-A-13-Coto 44 presentó niveles de amonio por encima del valor máximo admisible, además de presencia de coliformes fecales, concentraciones de hierro y manganeso, color aparente y conductividad eléctrica de 700 µS/cm.

El sistema PC-A-10-San Mateo, además suministrar agua con concentraciones de calcio superiores al valor máximo admisible, suministró concentraciones de sulfatos cercanas a 400 mg/L. De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), la presencia de sulfatos en el agua para consumo no representa un riesgo para la salud; sin embargo, su presencia en el agua puede afectar la aceptabilidad por parte de los consumidores, debido al sabor. Aunque existe evidencia de que concentraciones de sulfatos de (1 000 a 1 200) mg/L en el agua producen un efecto laxante sobre los consumidores, no se ha demostrado que incremente la diarrea, deshidratación o pérdida de peso (OMS, 2011). Debido a sus posibles efectos adversos, las Guías para la Calidad del Agua Potable recomiendan un nivel de alerta de 500 mg/L.

El arsénico es considerado como una de las sustancias químicas de origen natural de mayor riesgo para la salud del consumidor (OMS, 2011). En septiembre del 2014, comenzaron a operar las plantas de remoción de arsénico en sistemas 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). El sistema CH-A-43-Bagaces, que cuenta con una planta de remoción, suministró agua con concentraciones de arsénico cercanas al valor máximo admisible (10 µg/L), por lo que fue considerado potable con un riesgo bajo (Verde).

### 5.4. Escalera del servicio de agua en hogares de la OMS

El Cuadro 10.7 de Anexos muestra la escalera del servicio de agua en hogares ideada por el JMP de la UNICEF. La elaboración de la escalera del servicio de agua en hogares suministrado por AyA se basó en los registros administrativos del control de calidad realizado por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA). Para ello se establecieron cuatro supuestos:

1) Todos los sistemas operados por AyA suministraron agua proveniente de fuentes mejoradas; esto significa que la totalidad de la población abastecida por AyA recibió un servicio por lo menos del nivel básico.

2) Todos los sistemas operados por AyA suministraron un servicio de agua por tubería a los hogares, ya sea dentro de la vivienda o en la propiedad, con lo que se cumple el criterio de accesibilidad para la totalidad de la población.

3) Todos los sistemas operados por AyA suministraron agua disponible cuando se necesite; aunque no todos los sistemas hayan suministrado agua durante las 24 horas al día los 365 días del año, se espera que el suministro de agua haya sido mayor a 12 horas diarias – ver criterio usado por el JMP (UNICEF, 2019) en metodología.

4) Los sistemas de abastecimiento que suministraron agua de calidad potable estaban libres de contaminación.

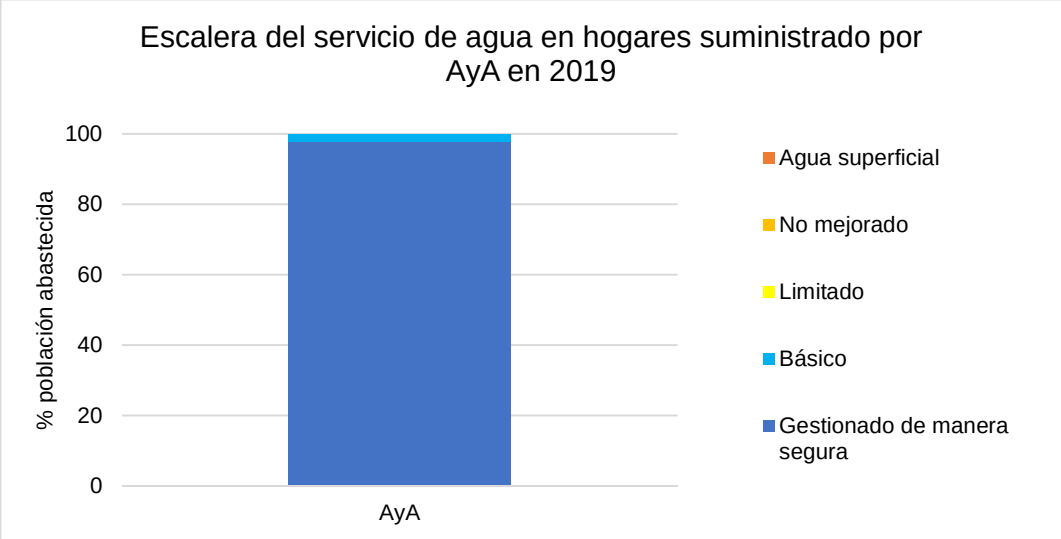


**Figura 5.7.** Escalera del servicio de agua en hogares suministrado por AyA en el 2019.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Por consiguiente, se considera que los sistemas de abastecimiento que suministraron agua potable brindaron un servicio gestionado de manera segura, abasteciendo al 98 % de la población; mientras que, los que suministraron agua no potable brindaron un servicio básico, abasteciendo al 2 % de la población. En la Figura 5.7 se detalla la escalera del servicio de agua en hogares suministrado por AyA para el 2019.

## 6. CONCLUSIONES GENERALES

- En el 2019 la población total abastecida por los sistemas operados por AyA en Costa Rica fue de 2 423 660 habitantes, lo que equivale al 48 % de la población nacional.

- El 98,4 % de la población abastecida por sistemas operados por AyA (2 383 981 habitantes) recibió agua de calidad potable, mediante 187 sistemas de abastecimiento.

- 28 sistemas de abastecimiento suministraron agua de calidad no potable al 1,6 % de la población abastecida por sistemas operados por AyA (39 679 habitantes).

- La provincia con mayor número de personas abastecidas por sistemas operados

por AyA fue San José con 1 446 853 habitantes; mientras que Cartago y Heredia presentaron la menor cantidad de habitantes abastecidos por AyA, siendo 27 163 y 32 946 habitantes respectivamente.

- Los sistemas operados por AyA en Heredia, Cartago y Alajuela abastecieron con agua potable al 100 % de su población; mientras que, Puntarenas fue la provincia que presentó la menor cobertura de agua potable, con un 91,1 %.

- En el 2019, el porcentaje de población abastecida con agua de calidad potable proveniente de sistemas operados por AyA disminuyó 0,1 puntos porcentuales con respecto al 2018. Sin embargo, el porcentaje se ha mantenido constante en los últimos ocho años, fluctuando entre 98-99 %.

- La región operativa que presentó la mayor cobertura con agua potable fue la RC con 99,9 %; mientras que, la RB presentó la menor cobertura con 91,3 %.

- Según el IRCACH, el 97,1 % de la población abastecida por AyA recibió agua de riesgo muy bajo (Azul); 1,3 % de riesgo bajo (Verde); 0,4 % de riesgo intermedio (Amarillo), 1,1 % de riesgo alto (Naranja), y 0,1 % de riesgo muy alto (Rojo).

- El riesgo asociado a la calidad del agua de los sistemas que incumplieron con los criterios microbiológicos varió de alto (Naranja) a muy alto (Rojo), dependiendo de si se incumplieron otros parámetros como hierro, manganeso, color aparente, turbiedad o cloro libre.

- El riesgo asociado a la calidad de sistemas no potable por incumplimiento de los criterios fisicoquímicos fue: muy alto (Rojo), debido a concentraciones de aluminio superiores a 0,9 mg/L y valores bajos de pH; e intermedio (Amarillo), ya sea por altas concentraciones de hierro y manganeso, concentraciones de calcio superiores al valor máximo admisible aunado a conductividades de 900 µS/cm, o turbiedades mayores a 8 UNT.

- El riesgo bajo (Verde) se debió a concentraciones nulas o insuficientes de cloro, concentraciones de calcio y sulfatos superiores al valor máximo admisible, suma de concentraciones de hierro y manganeso entre (300-500) µg/L, o concentraciones de arsénico cercanas al valor máximo admisible.

- La presencia de coliformes fecales fue la principal causa del deterioro de la calidad

del agua de los sistemas operados por AyA en el 2019.

- La presencia de coliformes fecales fue la principal causa del deterioro de la calidad del agua de los sistemas operados por AyA; de los 28 sistemas que suministraron agua de calidad no potable, 21 debieron su mala calidad a la presencia de coliformes fecales, y abastecieron aproximadamente a 30 306 habitantes.

- El bajo porcentaje de potabilidad de los sistemas no clorados se debió principalmente al incumplimiento de los criterios microbiológicos.

- Una adecuada concentración de cloro protege el agua de una posible contaminación microbiana, sin embargo, no todos los sistemas clorados mantienen un proceso de desinfección eficiente ni constante.

- 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 coliformes fecales.

- La falta de un tratamiento de potabilización del agua proveniente de las fuentes de abastecimiento superficiales y la ausencia de cloro en el agua de la red de distribución, representan un factor de alto riesgo de contaminación microbiana.

- La presencia de coliformes fecales fue el incumplimiento con mayor incidencia en el 2019, seguido de valores de hierro y manganeso superiores a 300 µg/L, turbiedad y color aparente, calcio, aluminio, amonio, pH y sulfatos.

- Aproximadamente 17 233 habitantes se abastecieron por sistemas que incumplieron con las concentraciones de hierro y manganeso en el agua, y se ubican en los cantones de Escazú (sistemas no clorados), Corredores, Parrita, Puntarenas, Limón y Talamanca.

- Los sistemas PC-A-33-Arío-Santa Teresa de Cóbano, HA-A-05-La Guaria del Valle de La Estrella y PC-A-28-Esterillos de Parrita suministraron agua no potable de riesgo intermedio (Amarillo), debido a presentaron concentraciones de hierro y manganeso superiores a 500 µg/L.

- Los sistemas BR-A-13-Coto 44, ME-A-25.2-Cuesta Calderones de Escazú y ME-

A-25.5-Calle Higuerones de Escazú suministraron agua no potable que incumplió, con las concentraciones de hierro y manganeso, además de otros parámetros como coliformes fecales, color aparente, turbiedad, amonio o aluminio; por lo que se consideraron de riesgo muy alto (Rojo).

- Los sistemas HA-A-01-Acueducto Integrado Hone Creek-Puerto Viejo y PC-A-16-Parrita suministraron agua de calidad potable con un riesgo bajo (Verde), debido a que las concentraciones de hierro y manganeso oscilaron entre (300-500) µg/L.

- Las plantas potabilizadoras de los sistemas de HA-A-01-Hone Creek-Puerto Viejo y HA-A-05-La Guaria del Valle de La Estrella no fueron eficientes en el proceso de remoción de hierro ni manganeso, ya que los puntos de muestreo del agua tratada presentaron concentraciones superiores a 300 µg/L.

- Aproximadamente 8 274 habitantes se abastecieron por sistemas que incumplieron con los niveles de color aparente y/o turbiedad.

- Muchos de los sistemas que incumplieron con turbiedad y/o color aparente fueron abastecidos por fuentes superficiales sin tratamiento ni cloración e incumplieron, además, con otros parámetros como coliformes fecales, aluminio, hierro y manganeso.

- El sistema ME-A-05.2-Chirracal presentó niveles de turbiedad por encima de 8 UNT, por lo que se consideró de calidad no potable de riesgo intermedio (Amarillo).

- El sistema de BR-A-08-Ciudad Cortés presentó niveles de color aparente por encima del reglamentado, por lo que fue considerado potable de riesgo bajo (Verde).

- Aproximadamente 6 372 habitantes se abastecieron por sistemas que incumplieron con las concentraciones de calcio en el agua, y se ubican en los cantones de Abangares, Santa Cruz, Talamanca y San Mateo.

- Los sistemas CH-A-05-Bolsón-Ortega y CH-A-29-Barbudal de Colorado se consideraron de calidad no potable de riesgo intermedio (Amarillo), debido a las concentraciones de calcio superiores a 100 mg/L, aunado a los elevados niveles de conductividad eléctrica y dureza total.

- Los sistemas HA-A-02-Cahuita y PC-A-10-San Mateo se consideraron de calidad potable de riesgo bajo (Verde), por suministrar agua con con concentraciones de calcio superiores a 100 mg/L.

- Aproximadamente 914 habitantes se abastecieron por sistemas que incumplieron con las concentraciones de aluminio en el agua, y se ubican en los cantones de Puntarenas y Escazú.

- El sistema PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla fue considerado de calidad no potable de riesgo muy alto (Rojo), debido a las concentraciones de aluminio superiores a 900 µg/L en el agua, aunado a valores de pH por debajo de 4,5.

- La planta potabilizadora del sistema de PC-A-21-Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla no fue eficiente en el proceso de remoción de aluminio, ya que los puntos de muestreo del agua tratada presentaron concentraciones superiores al valor máximo admisible.

- El sistema BR-A-13-Coto 44 presentó niveles de amonio por encima del valor máximo admisible, además de presencia de coliformes fecales, concentraciones de hierro y manganeso, color aparente y conductividad eléctrica de 700 µS/cm.

- El sistema PC-A-10-San Mateo, además suministrar agua con concentraciones de calcio superiores al valor máximo admisible, suministró concentraciones de sulfatos cercanas a 400 mg/L.

- El sistema CH-A-43-Bagaces, que cuenta con una planta de remoción, suministró agua con concentraciones de arsénico cercanas al valor máximo admisible (10 µg/L), por lo que fue considerado potable con un riesgo bajo (Verde).

- Con respecto a la escalera del servicio de agua en hogares, el AyA brindó un servicio gestionado de manera segura al 98 % de la población y un servicio básico al restante 2 % de la población.

## 7. RECOMENDACIONES GENERALES

- Mantener un residual de cloro libre de (0,3 a 0,6) mg/L, además de implementar un proceso de desinfección continuo y eficiente, especialmente en los sistemas donde se detectó la presencia de coliformes fecales o un residual bajo o nulo de cloro.

- Realizar inspecciones sanitarias de las estructuras de los sistemas 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.

- Potabilizar las fuentes superficiales utilizadas para abastecer a la población, o bien, buscar nuevas fuentes de abastecimiento con caudal suficiente para abastecer la demanda, que permitan una producción continua de agua de calidad potable.

- 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.

- Optimizar la remoción de hierro y manganeso en las plantas de Hone Creek-Puerto Viejo y de La Guaria del Valle de La Estrella, y la remoción de aluminio en la planta de Zagala-Villa Bruselas-Cebadilla.

- Revisar y mejorar la operación de la planta de remoción de arsénico del sistema CH-A-43-Bagaces, ya que el agua suministrada presentó concentraciones de arsénico cercanas al VMA (10 µg/L).

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

## 8. REFERENCIAS


American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 23° ed. Washington: American Public Health Association.

Decreto Ejecutivo N° 32327-S, 2005. *Reglamento para la Calidad del Agua Potable.* La Uruca(San José): Diario Oficial La Gaceta N°84.

Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015. *Reglamento para la Calidad del Agua Potable.* La Uruca(San José): Diario Oficial La Gaceta.

Decreto Ejecutivo N° 41499-S, 2019. *Reforma y Adición al Decreto Ejecutivo N° 38924-S del 12 de Enero del 2015 "Reglamento para la Calidad del Agua Potable".* La Uruca(San José): Diario Oficial La Gaceta.

EPA, 2017. *Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals,* s.l.: s.n.

EPA, 2017. *United States Environmental Protection Agency.* [En línea] Available at: https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/secondary-drinking-water-standards-guidance-nuisance-chemicals
[Último acceso: 31 enero 2018].

Hussein, M. y otros, 2015. Point-of-use chlorination of turbid water: results from a field study in Tanzania. *J Water Health,* 13(2), pp. 544-552.

INEC, 2019. *Encuesta Nacional de Hogares (ENAHO).* [En línea] Available at: http://www.inec.go.cr/vivienda

Ley N°276, 1942. *Ley de Aguas.* La Uruca(San José): Diario Oficial La Gaceta.

Mora, D. y otros, 2018. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH). 31(3), pp. 3-14.

OMS, 2011. *Guidelines for Drinking-water Quality,* Ginebra, Suiza: Cuarta ed..

Takó, S., 2010. *Ammonium removal from drinking-water - comparison of the breakingpoint chlorination and the biological technology.* s.l.:BME Department of Sanitary and Environmental Engineering.

UNICEF, 2017. *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y linea de base de los ODS,* Ginebra: s.n.

UNICEF, 2019. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Special focus on inequalities.,* Nueva York: s.n.

Urbina, A. & Arias, B., 2017. Tres Ríos, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

## 9. APÉNDICES

**Cuadro 9.1.** Población abastecida por sistemas operados por AyA según calidad de agua durante el periodo 2019.

| Región operativa | Población total | Potable | | No potable | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Población | % | Población | % |
| Área Metropolitana | 1413784 | 1403040 | 99,2 | 10744 | 0,8 |
| Brunca | 188092 | 171635 | 91,3 | 16457 | 8,7 |
| Central | 207400 | 207275 | 99,9 | 125 | 0,1 |
| Chorotega | 211741 | 208613 | 98,5 | 3128 | 1,5 |
| Huetar Caribe | 236898 | 234657 | 99,1 | 2241 | 0,9 |
| Pacífico Central | 165745 | 158761 | 95,8 | 3700 | 4,2 |
| **Totales generales** | **2423660** | **2383981** | **98,4** | **39679** | **1,6** |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 9.2.** Población abastecida por sistemas clorados operados por AyA según calidad de agua durante el periodo 2019.

| ORAC | Población | Clorados | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Potable | | No potable | |
| | | Población | % | Población | % |
| Área Metropolitana | 1411953 | 1403040 | 99,4 | 8913 | 0,6 |
| Brunca | 188092 | 171635 | 91,3 | 16457 | 8,7 |
| Central | 207338 | 207275 | 100,0 | 63 | 0,0 |
| Chorotega | 211741 | 208613 | 98,5 | 3128 | 1,5 |
| Huetar Caribe | 236872 | 234631 | 99,1 | 2241 | 0,9 |
| Pacífico Central | 162461 | 158761 | 97,7 | 3700 | 2,3 |
| **Totales generales** | **2418457** | **2383955** | **98,6** | **34502** | **1,4** |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 9.3.** Población abastecida por sistemas no clorados operados por AyA según calidad de agua durante el periodo 2019.

| ORAC | Población | No clorados | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Potable | | No potable | |
| | | Población | % | Población | % |
| Área Metropolitana | 1831 | 0 | 0,0 | 1831 | 100,0 |
| Brunca | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Central | 62 | 0 | 0 | 62 | 100 |
| Chorotega | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Huetar Caribe | 26 | 26 | 100 | 0 | 0 |
| Pacífico Central | 3284 | 0 | 0 | 3284 | 100 |
| **Totales generales** | **5203** | **26** | **0,5** | **5177** | **99,5** |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 9.4.** Número de sistemas operados por AyA según calidad de agua durante en el 2019.

| Región | Total | | | Clorados | | | No clorados | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Potable | No potable | Total | Potable | No potable | Total | Potable | No potable | Total |
| Área Metropolitana | 47 | 11 | 58 | 47 | 5 | 52 | 0 | 6 | 6 |
| Brunca | 24 | 3 | 27 | 24 | 3 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| Central | 32 | 4 | 36 | 32 | 1 | 33 | 0 | 3 | 3 |
| Chorotega | 51 | 4 | 55 | 51 | 4 | 55 | 0 | 0 | 0 |
| Huetar Caribe | 14 | 1 | 15 | 13 | 1 | 14 | 1 | 0 | 1 |
| Pacífico Central | 19 | 5 | 24 | 19 | 4 | 23 | 0 | 1 | 1 |
| **Totales generales** | **187** | **28** | **215** | **186** | **18** | **204** | **1** | **10** | **11** |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 9.5.** Calidad de los sistemas operados por la RAM durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| ME-A-03.1-EL LLANO: SECTOR PLANTA DE TRATAMIENTO | 2990 | Potable | Azul | | ALAJUELITA |
| ME-A-09.2-LINDA VISTA DE SAN JOSECITO | 448 | Potable | Azul | | ALAJUELITA |
| ME-A-18-LÁMPARAS DE SAN ANTONIO DE ALAJUELITA | 1050 | No potable | Naranja | Coliformes fecales y no clorado | ALAJUELITA |
| ME-A-06.2-URBANIZACIÓN VERACRUZ DE HIGUITO DE SAN MIGUEL | 1335 | Potable | Azul | | DESAMPARADOS |
| ME-A-11-GUATUSO DE PATARRÁ | 4039 | Potable | Azul | | DESAMPARADOS |
| ME-A-30-JERICÓ DE DESAMPARADOS | 1243 | No potable | Rojo | Coliformes fecales y cloros bajos | DESAMPARADOS |
| ME-A-07.1-SAN ANTONIO DE ESCAZÚ | 9510 | Potable | Azul | | ESCAZÚ |
| ME-A-25.1-BEBEDERO DE ESCAZÚ: SECTOR POZO BEBEDERO | 319 | Potable | Azul | | ESCAZÚ |
| ME-A-25.6-ESCAZÚ: SISTEMA LA MINA | 825 | No potable | Rojo | Coliformes fecales y cloros bajos | ESCAZÚ |
| ME-A-29-SAN ANTONIO DE ESCAZÚ: SECTOR NACIENTE LAJAS | 2145 | Potable | Azul | | ESCAZÚ |
| ME-A-25.2-CUESTA CALDERONES DE ESCAZÚ | 42 | No potable | Rojo | Coliformes fecales, aluminio, color aparente, hierro, manganeso, turbiedad y no clorado | ESCAZÚ |
| ME-A-25.3-BEBEDERO DE ESCAZÚ: SECTOR NO CLORADO | 121 | No potable | Naranja | Coliformes fecales y no clorado | ESCAZÚ |
| ME-A-25.4-CALLE EL ALTO DE ESCAZÚ (NO CLORADO) | 104 | No potable | Rojo | Coliformes fecales, color aparente y no clorado | ESCAZÚ |
| ME-A-25.5-CALLE HIGUERONES DE ESCAZÚ (NO CLORADO) | 413 | No potable | Rojo | Coliformes fecales, aluminio, hierro, manganeso, color aparente, turbiedad y no clorado | ESCAZÚ |
| ME-A-25.8-SAN ANTONIO DE ESCAZÚ: SECTOR LOS ROQUES | 101 | No potable | Naranja | Coliformes fecales y no clorado | ESCAZÚ |
| ME-A-28-VISTA DE MAR | 2317 | Potable | Azul | | GOICOECHEA |
| ME-A-27.1-MEZCLA DE FUENTES EL GUARCO | 9496 | Potable | Azul | | GUARCO |
| ME-A-27.2-BARRANCAS-TABLÓN DE TEJAR | 2303 | Potable | Azul | | GUARCO |
| ME-A-27.3-MEZCLA DE POZOS SILOS 1, 2 Y 3 DE TEJAR | 3713 | Potable | Azul | | GUARCO |

**Cuadro 9.5.** Calidad de los sistemas operados por la RAM durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| ME-A-27.4-PLANTA POTABILIZADORA HACIENDA VIEJA DE TEJAR | 2228 | Potable | Azul | | GUARCO |
| ME-A-27.5-PLANTA POTABILIZADORA HIGUITO DEL TEJAR | 4897 | Potable | Azul | | GUARCO |
| ME-A-27.6-PLANTA POTABILIZADORA LAS CATALINAS DE TEJAR | 3429 | Potable | Azul | | GUARCO |
| ME-A-27.8-POZO VILLA FORESTA DE TEJAR | 1097 | Potable | Azul | | GUARCO |
| ME-A-12-QUITIRRISÍ | 2401 | Potable | Azul | | MORA |
| ME-A-16.2-BRASIL DE MORA: SECTOR ABASTECIDO POR EL TANQUE RE | 116 | Potable | Azul | | MORA |
| ME-A-16.3-BRASIL DE MORA: SECTOR ABASTECIDO POR EL TANQUE RO | 73 | Potable | Azul | | MORA |
| ME-A-16.4-BRASIL DE MORA: SECTOR ABASTECIDO POR EL TANQUE TR | 182 | Potable | Azul | | MORA |
| ME-A-26-QUEBRADA HONDA DE CIUDAD COLÓN | 2893 | Potable | Azul | | MORA |
| ME-A-31.4-LA FILA (CORROGRES) | 2138 | Potable | Azul | | MORA |
| ME-A-31.1-SANTIAGO DE PURISCAL | 17670 | Potable | Azul | | PURISCAL |
| ME-A-31.2-MERCEDES DE PURISCAL | 366 | Potable | Azul | | PURISCAL |
| ME-A-31.3-ALTO LA LEGUA DE PURISCAL | 409 | Potable | Azul | | PURISCAL |
| ME-A-31.5-BARBACOAS DE PURISCAL | 1980 | Potable | Azul | | PURISCAL |
| ME-A-31.6-SAN ANTONIO DE PURISCAL | 3924 | Potable | Azul | | PURISCAL |
| ME-A-31.7-PIEDADES DE PURISCAL | 924 | Potable | Azul | | PURISCAL |
| ME-A-31.8-LA GLORIA DE PURISCAL | 360 | Potable | Azul | | PURISCAL |
| ME-A-01-TRES RÍOS | 553950 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-02-GUADALUPE | 75309 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-04-LOS SITIOS | 138572 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-06.1-SAN JUAN DE DIOS | 36111 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-08-LOS CUADROS | 22854 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |

**Cuadro 9.5.** Calidad de los sistemas operados por la RAM durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| ME-A-09.1-ALAJUELITA | 10216 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-10-MATA DE PLÁTANO | 1963 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-13-SAN JERÓNIMO | 3761 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-16.1-POTRERILLOS-SAN ANTONIO | 33136 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-17-LA VALENCIA | 253139 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-19.1-PUENTE DE MULAS | 121780 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-20-PADRE CARAZO | 1601 | Potable | Azul | | SAN JOSÉ |
| ME-A-22-PIZOTE (SAN PEDRO) | 6579 | No potable | Naranja | Coliformes fecales | SAN JOSÉ |
| ME-A-15-SAN PABLO DE HEREDIA | 31705 | Potable | Azul | | SAN PABLO |
| ME-A-05.1-SANTA ANA: SECTOR ABASTECIDO POR LA PLANTA DE SALI | 19917 | Potable | Azul | | SANTA ANA |
| ME-A-05.2-CHIRRACAL | 145 | No potable | Amarillo | Turbiedad mayor de 8 | SANTA ANA |
| ME-A-19.2-BELLA VISTA Y EL TRIUNFO DE SANTA ANA | 690 | Potable | Azul | | SANTA ANA |
| ME-A-23-BARRIO ESPAÑA | 668 | Potable | Azul | | SANTA ANA |
| ME-A-24.1-CANGREJAL DE MATINILLA | 121 | No potable | Naranja | Coliformes fecales | SANTA ANA |
| ME-A-24.2-EL BERRAL DE MATINILLA | 174 | Potable | Azul | | SANTA ANA |
| ME-A-14-SAN RAFAEL Y SAN PEDRO DE CORONADO: PL. TRATAMIENTO | 12223 | Potable | Azul | | VÁZQUEZ DE CORONADO |
| ME-A-21-CHIVERRALES | 1569 | Potable | Azul | | VÁZQUEZ DE CORONADO |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 9.6.** Calidad de los sistemas operados por la RHC durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| HA-A-11.1-POCORA | 5607 | Potable | Azul | | GUÁCIMO |
| HA-A-12-GUÁCIMO-RÍO JIMÉNEZ | 26156 | Potable | Azul | | GUÁCIMO |
| HA-A-11.2-LAS DELICIAS DE POCORA | 26 | Potable | Verde | No clorado | GUÁCIMO |
| HA-A-03-LIMÓN | 65331 | Potable | Azul | | LIMÓN |
| HA-A-04-LA BOMBA | 1126 | Potable | Azul | | LIMÓN |
| HA-A-05-LA GUARIA DEL VALLE DE LA ESTRELLA | 2241 | No potable | Amarillo | Hierro y manganeso | LIMÓN |
| HA-A-06-ESTRADA-MATINA | 4290 | Potable | Azul | | MATINA |
| HA-A-07-LUZÓN-SANTA MARTA | 1918 | Potable | Verde | Cloros bajos | MATINA |
| HA-A-08-BATÁN-VEINTIOCHO MILLAS | 11128 | Potable | Azul | | MATINA |
| HA-A-13-CARIARI - ANITA GRANDE | 25717 | Potable | Azul | | POCOCÍ |
| HA-A-14.1-GUÁPILES- LA RITA -ROXANA -JIMÉNEZ | 62555 | Potable | Azul | | POCOCÍ |
| HA-A-09-SIQUIRRES | 24595 | Potable | Azul | | SIQUIRRES |
| HA-A-10-MADRE DE DIOS | 756 | Potable | Azul | | SIQUIRRES |
| HA-A-01-ACUEDUCTO INTEGRADO HONE CREEK - PUERTO VIEJO | 4376 | Potable | Verde | Hierro y manganeso | TALAMANCA |
| HA-A-02-CAHUITA | 1076 | Potable | Verde | Calcio y conductividad eléctrica de 600 | TALAMANCA |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 9.7.** Calidad de los sistemas operados por la RCH durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| CH-A-28-COLORADO, RAIZAL E HIGUERILLA | 1858 | Potable | Azul | | ABANGARES |
| CH-A-29-BARBUDAL DE COLORADO | 201 | No potable | Amarillo | Calcio, dureza total y conductividad eléctrica de 800 | ABANGARES |

**Cuadro 9.7.** Calidad de los sistemas operados por la RCH durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| CH-A-43-BAGACES | 7874 | Potable | Verde | Arsénico cerca del VMA | BAGACES |
| CH-A-44-SALITRAL DE BAGACES | 175 | Potable | Azul | | BAGACES |
| CH-A-45-MONTENEGRO Y AGUA CALIENTE DE BAGACES | 1594 | Potable | Azul | | BAGACES |
| CH-A-46-FALCONIANA DE BAGACES | 254 | Potable | Azul | | BAGACES |
| CH-A-47-QUINTAS DON MIGUEL DE BAGACES | 606 | Potable | Azul | | BAGACES |
| CH-A-26-CAÑAS | 18454 | Potable | Azul | | CAÑAS |
| CH-A-27-VERGEL DE CAÑAS | 201 | No potable | Naranja | Coliformes fecales | CAÑAS |
| CH-A-30-BEBEDERO DE CAÑAS | 2020 | Potable | Azul | | CAÑAS |
| CH-A-31-FILADELFIA | 4462 | Potable | Azul | | CARRILLO |
| CH-A-32-RÍO CAÑAS | 749 | Potable | Azul | | CARRILLO |
| CH-A-33-PALMIRA | 1894 | Potable | Azul | | CARRILLO |
| CH-A-34-GUARDIA-COMUNIDAD | 1709 | Potable | Azul | | CARRILLO |
| CH-A-35-BELÉN-SANTA ANA | 5425 | Potable | Azul | | CARRILLO |
| CH-A-39-EL COCO | 9946 | Potable | Azul | | CARRILLO |
| CH-A-40-SARDINAL | 4788 | Potable | Azul | | CARRILLO |
| CH-A-14-ACUEDUCTO INTEGRADO MATAMBÚ-LOS ÁNGELES-CERRILLOS-HO | 4010 | Potable | Azul | | HOJANCHA |
| CH-A-41-LA CRUZ | 7847 | Potable | Azul | | LA CRUZ |
| CH-A-42-PEÑAS BLANCAS | 378 | Potable | Azul | | LA CRUZ |
| CH-A-36-PAPAGAYO ALEGRO | 46 | Potable | Azul | | LIBERIA |
| CH-A-37-PAPAGAYO: SECTOR FOUR SEASONS | 99 | Potable | Azul | | LIBERIA |
| CH-A-38-PAPAGAYO SUR: HERMOSA - CACIQUE | 749 | Potable | Azul | | LIBERIA |
| CH-A-50-LIBERIA | 59777 | Potable | Azul | | LIBERIA |
| CH-A-51-EL GALLO DE CURUBANDÉ | 1956 | Potable | Azul | | LIBERIA |

**Cuadro 9.7.** Calidad de los sistemas operados por la RCH durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| CH-A-52-TERREROS | 452 | Potable | Azul | | LIBERIA |
| CH-A-53-RODEITO | 368 | Potable | Azul | | LIBERIA |
| CH-A-54-CAÑAS DULCES | 2583 | Potable | Azul | | LIBERIA |
| CH-A-55-QUEBRADA GRANDE | 1033 | Potable | Azul | | LIBERIA |
| CH-A-56-CURUBANDÉ DE LIBERIA (SISTEMA NUEVO) | 833 | Potable | Azul | | LIBERIA |
| CH-A-12-NICOYA | 20061 | Potable | Azul | | NICOYA |
| CH-A-13-MANSION-BARRA HONDA-PUEBLO VIEJO | 2369 | Potable | Azul | | NICOYA |
| CH-A-15-VIGIA-PUERTO JESUS | 558 | Potable | Azul | | NICOYA |
| CH-A-16-SAN ANTONIO | 482 | Potable | Azul | | NICOYA |
| CH-A-17-POLVAZALES | 393 | Potable | Azul | | NICOYA |
| CH-A-19-ACUEDUCTO INTEGRADO CUESTA GRANDE-MAQUENCO-TERCIOPEL | 568 | Potable | Azul | | NICOYA |
| CH-A-20-SAN JOAQUÍN DE NICOYA: SECTOR LOS MANGOS 1 | 601 | Potable | Azul | | NICOYA |
| CH-A-21-SAN JOAQUÍN DE NICOYA: SECTOR LOS MANGOS 2 | 432 | Potable | Azul | | NICOYA |
| CH-A-18-JICARAL | 2874 | Potable | Azul | | PUNTARENAS |
| CH-A-01-SANTA CRUZ | 13616 | Potable | Azul | | SANTA CRUZ |
| CH-A-02-CACAO DE SANTA CRUZ | 1142 | Potable | Azul | | SANTA CRUZ |
| CH-A-03-LAGUNILLA | 2409 | Potable | Azul | | SANTA CRUZ |
| CH-A-04-CARTAGENA | 3495 | Potable | Azul | | SANTA CRUZ |
| CH-A-05-BOLSÓN-ORTEGA | 1538 | No potable | Amarillo | Calcio, dureza total y conductividad eléctrica de 900 | SANTA CRUZ |
| CH-A-06-SANTA BÁRBARA | 2505 | Potable | Azul | | SANTA CRUZ |
| CH-A-07-PORTEGOLPE | 1188 | No potable | Naranja | Coliformes fecales | SANTA CRUZ |
| CH-A-08-VEINTISIETE DE ABRIL | 1686 | Potable | Azul | | SANTA CRUZ |
| CH-A-09-TEMPATE | 545 | Potable | Azul | | SANTA CRUZ |

**Cuadro 9.7.** Calidad de los sistemas operados por la RCH durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| CH-A-10-TAMARINDO (SISTEMA BECO ANTIGUO) | 1148 | Potable | Azul | | SANTA CRUZ |
| CH-A-11-FLAMINGO | 894 | Potable | Azul | | SANTA CRUZ |
| CH-A-22.1-TILARAN | 7161 | Potable | Azul | | TILARÁN |
| CH-A-22.2-BUENOS AIRES | 1706 | Potable | Azul | | TILARÁN |
| CH-A-23-LOS ÁNGELES | 1092 | Potable | Azul | | TILARÁN |
| CH-A-24-LÍBANO | 366 | Potable | Azul | | TILARÁN |
| CH-A-25-TIERRAS MORENAS | 571 | Potable | Azul | | TILARÁN |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 9.8.** Calidad de los sistemas operados por la RC durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| CO-A-33-SAN IGNACIO DE ACOSTA | 4033 | Potable | Azul | | ACOSTA |
| CO-A-01.1-PASITO | 83237 | Potable | Azul | | ALAJUELA |
| CO-A-01.2-URBANIZACIÓN LA LUCHA | 707 | Potable | Azul | | ALAJUELA |
| CO-A-01.3-URBANIZACIÓN METATES DE SAN ANTONIO | 490 | Potable | Azul | | ALAJUELA |
| CO-A-01.4-URBANIZACIÓN MONTERROCOSO | 1127 | Potable | Azul | | ALAJUELA |
| CO-A-01.5-URBANIZACIÓN VILLA VERANO DE EL COYOL DE ALAJUELA | 175 | Potable | Azul | | ALAJUELA |
| CO-A-02-AEROPUERTO | 329 | Potable | Azul | | ALAJUELA |
| CO-A-03-LA GUÁCIMA | 10160 | Potable | Azul | | ALAJUELA |
| CO-A-04-CIUDAD HACIENDA LOS REYES | 1211 | Potable | Azul | | ALAJUELA |
| CO-A-05-ATENAS | 11526 | Potable | Azul | | ATENAS |

**Cuadro 9.8.** Calidad de los sistemas operados por la RC durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| CO-A-06-SANTA EULALIA - ALTO LÓPEZ | 3070 | Potable | Azul | | ATENAS |
| CO-A-07.1-RIO GRANDE (SECTOR NACIENTE LULA) | 986 | Potable | Azul | | ATENAS |
| CO-A-07.2-RÍO GRANDE (SECTOR NAC. HERMÓGENES CASTILLO) | 680 | Potable | Azul | | ATENAS |
| CO-A-08-ALTO LÓPEZ | 34 | Potable | Azul | | ATENAS |
| CO-A-10-BARROETA | 85 | Potable | Verde | Cloros bajos | ATENAS |
| CO-A-11-LAS CUMBRES (ÁNGELES, ATENAS) | 37 | Potable | Azul | | ATENAS |
| CO-A-34-RESIDENCIAL LOS ARCOS | 1241 | Potable | Azul | | HEREDIA |
| CO-A-12-LOS CHILES | 3700 | Potable | Azul | | LOS CHILES |
| CO-A-13-SAN JERÓNIMO DE LOS CHILES DE ALAJUELA | 546 | Potable | Azul | | LOS CHILES |
| CO-A-14-CRISTO REY DE LOS CHILES | 424 | Potable | Azul | | LOS CHILES |
| CO-A-15-SANTA CECILIA DE AMPARO DE LOS CHILES | 1081 | Potable | Azul | | LOS CHILES |
| CO-A-16-LAS TABLILLAS DE LOS CHILES | 189 | Potable | Azul | | LOS CHILES |
| CO-A-39-PALMARES-LAS JUNTAS-SAN RAMÓN | 25651 | Potable | Azul | | PALMARES |
| CO-A-40-JUAN DE DIOS VÁSQUEZ DE PALMARES | 66 | Potable | Azul | | PALMARES |
| CO-A-41-LA GRANJA ARRIBA DE PALMARES | 809 | Potable | Azul | | PALMARES |
| CO-A-42-PACO RODRIGUEZ DE PALMARES | 63 | No potable | Naranja | Coliformes fecales | PALMARES |
| CO-A-35-SAN RAMÓN | 37458 | Potable | Azul | | SAN RAMÓN |
| CO-A-36-SAN JUAN DE SAN RAMÓN | 4511 | Potable | Azul | | SAN RAMÓN |
| CO-A-37-CHAYOTE DE SAN JUAN DE SAN RAMÓN | 6762 | Potable | Azul | | SAN RAMÓN |
| CO-A-38-PIEDADES NORTE | 4138 | Potable | Azul | | SAN RAMÓN |
| CO-A-25-SAN GABRIEL DE CARARA (TURRUBARES) | 152 | Potable | Azul | | TURRUBARES |
| CO-A-26-SAN PEDRO Y SAN PABLO DE TURRUBARES | 2634 | Potable | Azul | | TURRUBARES |
| CO-A-30-CAMARÓN | 26 | Potable | Verde | Cloros bajos | TURRUBARES |

**Cuadro 9.8.** Calidad de los sistemas operados por la RC durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| CO-A-27-PURIRES ARRIBA (NO CLORADO) | 36 | No potable | Naranja | Coliformes fecales y no clorado | TURRUBARES |
| CO-A-28-PURIRES ABAJO (NO CLORADO) | 16 | No potable | Naranja | Coliformes fecales y no clorado | TURRUBARES |
| CO-A-31-QUEBRADA LA PLATA (NO CLORADO) | 10 | No potable | Rojo | Coliformes fecales, color aparente y no clorado | TURRUBARES |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 9.9.** Calidad de los sistemas operados por la RB durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| BR-A-19.1-BUENOS AIRES: SECTOR FUENTE CABUYA | 5250 | Potable | Azul | | BUENOS AIRES |
| BR-A-19.2-BUENOS AIRES: SECTOR PLANTA DE TRATAMIENTO | 10847 | Potable | Azul | | BUENOS AIRES |
| BR-A-20-SANTA MARTA | 2521 | Potable | Azul | | BUENOS AIRES |
| BR-A-21-SANTA ROSA DE VOLCÁN | 231 | Potable | Azul | | BUENOS AIRES |
| BR-A-12.1-CIUDAD NEILY (ABROJO) | 1881 | Potable | Azul | | CORREDORES |
| BR-A-12.2-CIUDAD NEILY (VIEJO) | 6471 | Potable | Azul | | CORREDORES |
| BR-A-12.3-BARRIO LA FUENTE | 261 | Potable | Azul | | CORREDORES |
| BR-A-12.4-LA CUESTA - LAUREL | 10098 | No potable | Naranja | Coliformes fecales | CORREDORES |
| BR-A-12.5-PASO CANOAS | 6937 | Potable | Azul | | CORREDORES |
| BR-A-12.6-FILA DE CAL | 60 | Potable | Azul | | CORREDORES |
| BR-A-13-COTO 44 | 234 | No potable | Rojo | Coliformes fecales, hierro, manganeso, color aparente, amonio, potasio, conductividad eléctrica de 700 y cloros bajos | CORREDORES |
| BR-A-11-LAS TABLAS | 28331 | Potable | Azul | | COTO BRUS |

**Cuadro 9.9.** Calidad de los sistemas operados por la RB durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| BR-A-14-ACUEDUCTO INTEGRADO RÍO CLARO-LOS ÁNGELES | 10072 | Potable | Azul | | GOLFITO |
| BR-A-15-LA MONA DE GOLFITO | 1488 | Potable | Azul | | GOLFITO |
| BR-A-16.1-GOLFITO: SECTOR PUEBLO CIVIL | 1848 | Potable | Azul | | GOLFITO |
| BR-A-17-SAN JUAN DE GOLFITO | 218 | Potable | Azul | | GOLFITO |
| BR-A-18-PUERTO JIMENEZ | 2670 | Potable | Azul | | GOLFITO |
| BR-A-07-DOMINICAL DE OSA | 193 | Potable | Azul | | OSA |
| BR-A-08-CIUDAD CORTÉS | 7326 | Potable | Verde | Color aparente | OSA |
| BR-A-10-PALMAR NORTE-PALMAR SUR | 6125 | No potable | Naranja | Coliformes fecales | OSA |
| BR-A-01.1-SAN ISIDRO | 77763 | Potable | Azul | | PÉREZ ZELEDÓN |
| BR-A-01.2-QUEBRADAS | 1218 | Potable | Azul | | PÉREZ ZELEDÓN |
| BR-A-02-PEÑAS BLANCAS | 2118 | Potable | Azul | | PÉREZ ZELEDÓN |
| BR-A-03-SAN RAFAEL DE PLATANARES | 739 | Potable | Azul | | PÉREZ ZELEDÓN |
| BR-A-04-TINAMASTE-ALFOMBRA | 700 | Potable | Azul | | PÉREZ ZELEDÓN |
| BR-A-05-PLATANILLO | 980 | Potable | Azul | | PÉREZ ZELEDÓN |
| BR-A-06-PEJIBAYE | 1512 | Potable | Azul | | PÉREZ ZELEDÓN |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 9.10.** Calidad de los sistemas operados por la RPC durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| PC-A-15-QUEPOS | 17609 | Potable | Azul | | AGUIRRE |
| PC-A-12-LÍNEA COYOLAR - CALDERA | 5389 | Potable | Azul | | ESPARZA |

**Cuadro 9.10.** Calidad de los sistemas operados por la RPC durante el 2019.

| Sistemas de abastecimiento | Población | Calidad | IRCACH | Parámetros incumplidos | Cantón |
|---|---|---|---|---|---|
| PC-A-13-CERRILLOS-SAN JERÓNIMO | 865 | No potable | Naranja | Coliformes fecales | ESPARZA |
| PC-A-14-ESPARZA-PARAÍSO | 24536 | Potable | Azul | | ESPARZA |
| PC-A-31-EL BAMBÚ DE SAN JUAN DE ESPARZA | 69 | Potable | Azul | | ESPARZA |
| PC-A-34-ARTIEDA | 152 | Potable | Azul | | ESPARZA |
| PC-A-23-JACÓ DE GARABITO | 16919 | Potable | Azul | | GARABITO |
| PC-A-29-QUEBRADA AMARILLA DE JACO | 993 | Potable | Azul | | GARABITO |
| PC-A-32-PLAYA HERMOSA DE JACO | 1106 | Potable | Azul | | GARABITO |
| PC-A-30-UVITA DE OROTINA SECTOR PRINCIPAL | 2261 | Potable | Azul | | OROTINA |
| PC-A-16-PARRITA | 5138 | Potable | Verde | Hierro y manganeso | PARRITA |
| PC-A-28-ESTERILLOS DE PARRITA | 3284 | No potable | Amarillo | Hierro, manganeso y no clorado | PARRITA |
| PC-A-17-BARRANCA - EL ROBLE- CHACARITA | 60647 | Potable | Azul | | PUNTARENAS |
| PC-A-18-PUNTARENAS CENTRO | 12797 | Potable | Azul | | PUNTARENAS |
| PC-A-19-CARMEN LYRA-LA GUARIA-MOJONCITO | 591 | Potable | Azul | | PUNTARENAS |
| PC-A-20-EL LLANO DE SAN MIGUEL DE BARRANCA | 871 | No potable | Naranja | Coliformes fecales | PUNTARENAS |
| PC-A-21-ZAGALA-VILLA BRUSELAS-CEBADILLA | 459 | No potable | Rojo | Aluminio y pH inferior a 4,5 | PUNTARENAS |
| PC-A-22-PITAHAYA-ARANJUEZ | 1320 | Potable | Azul | | PUNTARENAS |
| PC-A-25-CÓBANO | 3093 | Potable | Azul | | PUNTARENAS |
| PC-A-26-TAMBOR | 508 | Potable | Azul | | PUNTARENAS |
| PC-A-27-POCHOTE | 277 | Potable | Azul | | PUNTARENAS |
| PC-A-33- ARÍO - SANTA TERESA DE CÓBANO | 1505 | No potable | Amarillo | Hierro y manganeso | PUNTARENAS |
| PC-A-10-SAN MATEO | 3557 | Potable | Verde | Calcio, sulfatos y conductividad eléctrica | SAN MATEO |
| PC-A-11-JESÚS MARIA | 1799 | Potable | Azul | | SAN MATEO |

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

## 10. ANEXOS

**Cuadro 10.1.** Frecuencia de muestreo y número de muestras a recolectar en las fuentes de abastecimiento, tanques de almacenamiento y red de distribución para el nivel 1 del control de calidad.

| Población abastecida | Fuentes de abastecimiento [a] [b] | | Tanques de almacenamiento [a] | | Red de distribución [a] [b] | | Total de muestras mínimas por año [c] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Frecuencia | N° muestras | Frecuencia | N° muestras | Frecuencia | N° muestras | |
| < 5 000 | Semestral | 1 en cada fuente | Semestral | 1 en cada tanque | Semestral | 3 | 10 |
| 5 000 a 100 000 | Semestral | 1 en cada fuente | Trimestral | 1 en cada tanque | Trimestral | 3 | 18 |
| 100 001 a 500 000 | Mensual | 1 en cada fuente | Mensual | 1 en cada tanque | Mensual | 15 | 120 más 12 por cada 100 000 habitantes [d] |
| > 500 000 | Mensual | 1 en cada fuente | Mensual | 1 en cada tanque | Diaria | 15 | 180 más 12 por cada 100 000 habitantes |

Notas:
**(a).** Aplica para los parámetros microbiológicos del N1.
**(b).** Aplica para los parámetros fisicoquímicos del N1. En el caso de la red de distribución se realiza una (1) única muestra.
**(c)** En los acueductos que abastecen poblaciones superiores a 100.000 personas, con historial de calidad, por al menos 2 años, y resultados de:
i. Coliformes fecales y *E.coli* negativos en más del 95% de las muestras anuales.
ii. Cloro residual entre 0,3 mg/L a 0,6 mg/L (en el 90% de las muestras anuales).
iii. Turbiedad menor o igual a 1 U.N.T. (en el 90% de las muestras anuales).
Los entes operadores pueden reducir hasta en un 50% el número de muestras y readecuar la frecuencia de muestreo en concordancia con la mencionada reducción. Para optar por esta reducción, en un acueducto, el ente operador debe probar con datos estadísticos el historial de resultados de la calidad del agua (previa autorización del Ministerio de Salud).
Fuente: Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S, Reglamento para la Calidad del Agua Potable, 2015.

**Cuadro 10.2.** Frecuencia de muestreo y número de muestras a recolectar para análisis fisicoquímicos en las fuentes de abastecimiento y red de distribución para los niveles 2 y 3 del control de calidad.

| Población abastecida | 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 todas las, que ingresa a la red de distribución. | Cada 3 años | 1 |
| 5 000 a 100 000 | Cada 2 años | 1 en cada fuente o en la mezcla de todas las, que ingresa a la red de distribución. | Cada 2 años | 1 |
| 100 001 a 500 000 | Anual | 1 en cada fuente o en la mezcla de todas las, que ingresa a la red de distribución. | Anual | 1 |
| > 500 000 | Trimestral | 1 en cada fuente o en la mezcla de todas las, que ingresa a la red de distribución. | Trimestral | 6 |

Nota: Todo acueducto debe contar con análisis de plaguicidas e hidrocarburos, cuando la inspección sanitaria establece un factor de riesgo, de que estas sustancias puedan estar presentes en el agua.
Fuente: Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S, Reglamento para la Calidad del Agua Potable, 2015.

**Cuadro 10.3.** Parámetros para la evaluación de la calidad del agua para consumo humano.

| 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 |
| Coliformes fecales | NMP/100 ml o UFC/100 ml | No detectable | No detectable |
| *Escherichia coli* | NMP/100 ml o UFC/100 ml | No detectable | No detectable |
| 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 |
| 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 10.4.** Criterios microbiológicos para la evaluación de la calidad del agua para consumo según población abastecida.

| Calidad del sistema de abastecimiento | Proporción (%) de muestras negativas por *E. coli* | | |
|---|---|---|---|
| | Población < 5 000 | Población de 5 000 a 100 000 | Población > 100 000 |
| A | 90 | 95 | 99 |
| B | 80 | 90 | 95 |
| C | 70 | 85 | 90 |
| D | 60 | 80 | 85 |

Fuente: Guías para la calidad del agua potable, IV edición, OMS, 2011.

**Cuadro 10.5.** Clasificación de los parámetros fisicoquímicos 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 | |

**Cuadro 10.5.** Clasificación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según su efecto en la calidad del agua.

| Tipo | Parámetros | Observación |
|---|---|---|
| | Aluminio | Valores superiores a 900 µg/L pueden ser nocivos para la 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: Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, II versión, LNA, 2018.

**Cuadro 10.6.** 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 Emergencias Químicas. |

Fuente: Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, II versión, LNA, 2018.

**Cuadro 10.7.** Escalera del servicio de agua en hogares.

| Nivel de servicio | Definición |
|---|---|
| Gestionado de manera segura | Agua para consumo procedente de una fuente mejorada ubicada dentro de la vivienda o en el patio o parcela, disponible en el momento necesario y libre de contaminación fecal y sustancias químicas prioritarias. |
| Básico | Agua para consumo procedente de una fuente mejorada cuyo tiempo de recogida no supera los 30 minutos, incluyendo el trayecto de ida y vuelta y tiempo de espera. |
| Limitado | Agua para consumo procedente de una fuente mejorada, cuyo tiempo de recogida supera los 30 minutos incluyendo trayecto de ida y vuelta y tiempo de espera. |
| No mejorado | Agua para consumo procedente de un pozo o manantial no protegido. |
| Agua superficial | Agua para consumo recogida directamente de un río, arroyo, represa, lago, estanque, canal o de un canal de irrigación. |

Fuente: UNICEF, 2017.