



# TECNOLOGÍA *en marcha*

Revista trimestral  
Diciembre 2019  
Volumen 32  
ISSN-E 2215-3241

Número especial  
Laboratorio Nacional de Aguas

Publicación y directorio en catálogos



TEC | Tecnológico  
de Costa Rica

latindex

Dialnet  
DOAJ

SciELO  
REDIB  
Red Iberoamericana  
de Investigadores y Científicos

**Comisión Editorial**

Ana Ruth Vílchez Rodríguez. Directora.  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Juan Antonio Aguilar Garib  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Universidad Autónoma de Nuevo León,  
México

Carlos Andrés Arredondo Orozco  
Facultad de Ingenierías  
Universidad de Medellín. Colombia

Lars Köhler  
Experimenteller Botanischer Garten  
Georg-August-Universität Göttingen.  
Alemania

Jorge Solano Jiménez  
Instituto Costarricense del Cemento  
y del Concreto

**Edición técnica**

Alexa Ramírez Vega

**Revisión filológica**

Esperanza Buitrago Poveda

**Diseño gráfico**

Felipe Abarca Fedullo

**Diagramación**

Asesoría en Ediciones gráficas

**Diseño de cubierta**

Felipe Abarca Fedullo

**Datos de catalogación en publicación**

Tecnología en Marcha / Editorial Tecnológica  
de Costa Rica. - Vol. 32, Especial  
Laboratorio Nacional de Aguas. Diciembre  
(2019) –Cartago: la Editorial, 2019 –  
Trimestral  
ISSN-E 2215-3241

1. Ciencia y Tecnología –  
Publicaciones periódicas CDD:600

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

Apdo 159-7050 Cartago, Costa Rica  
Tel.:(506) 2550-2297, 2550-2618  
Correo electrónico: editorial@itcr.ac.cr  
Web: editorial.tec.ac.cr  
[http://revistas.tec.ac.cr/tec\\_marcha](http://revistas.tec.ac.cr/tec_marcha)

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

La Editorial Tecnológica de Costa Rica es una dependencia especializada del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Desde su creación, en 1978, se ha dedicado a la edición y publicación de obras en ciencia y tecnología. Las obras que se han editado abarcan distintos ámbitos respondiendo a la orientación general de la Institución.

Hasta el momento se han editado obras que abarcan distintos campos del conocimiento científico-tecnológico y han constituido aportes para los diferentes sectores de la comunidad nacional e internacional.

La principal motivación de la Editorial es recoger y difundir los conocimientos relevantes en ciencia y tecnología, llevándolos a los sectores de la comunidad que los requieren.

La revista *Tecnología en Marcha* es publicada por la Editorial Tecnológica de Costa Rica, con periodicidad trimestral. Su principal temática es la difusión de resultados de investigación en áreas de Ingeniería. El contenido de la revista está dirigido a investigadores, especialistas, docentes y estudiantes universitarios de todo el mundo.

**Publicación y directorio en catálogos**



# **TECNOLOGÍA** *en marcha*

## Contenido

Los 55 años del Laboratorio Nacional de Aguas (1964-2019) <i>Darner A. Mora-Alvarado</i> .....	3
Agua para consumo humano y saneamiento en Centros Educativos de Costa Rica al año 2017 Drinking-water and sanitation in Educational Institutions in Costa Rica 2017 <i>Darner A. Mora-Alvarado, Pablo C. Rivera-Navarro, Flora Acuña-Cubero, Carlos Felipe Portuguez</i> .....	5
Calidad sanitaria de las aguas superficiales en litorales de Costa Rica: situación del 2012 al 2018 Sanitary quality of surface waters in littorals of Costa Rica: situation from 2012 to 2018 <i>Andrei Badilla-Aguilar, Darner A. Mora-Alvarado</i> .....	17
Agua para consumo humano en Costa Rica: de los objetivos de desarrollo del milenio a los objetivos de Desarrollo Sostenible Drinking-water in Costa Rica: from millennium development goals to Sustainable Development goals <i>Darner A. Mora -Alvarado, Carlos Felipe Portuguez-Barquero</i> .....	26
Análisis de la calidad bacteriológica de dos playas tropicales: relación de indicadores de contaminación fecal entre el agua de mar y las arenas Analysis of microbiological quality of two tropical beaches: relationship of fecal contamination indicators between seawater and sands <i>Andrei Badilla-Aguilar, Darner A. Mora-Alvarado</i> .....	37
Disposición de excretas en Costa Rica: de los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible Excreta disposal in Costa Rica: from the Millennial Development Goals to the Sustainable Development Goals <i>Darner A. Mora -Alvarado, Carlos Felipe Portuguez-Barquero</i> .....	46

<p>Monumento Nacional Guayabo: Calidad del Agua del Acueducto Precolombino            Guayabo National Monument: Pre-Columbian Aqueduct Water Quality  <i>Yuliana Solís-Castro, Darner A. Mora-Alvarado,            Ileana Garbanzo-Acosta</i> .....</p>	<p>57</p>
<p>Indice de calidad y continuidad de los servicios de agua para consumo humano en Costa Rica            Costa rican drinking-water quality and availability index  <i>Darner A. Mora-Alvarado, Rafael Barboza-Topping,            Jimena Orozco-Gutiérrez</i> .....</p>	<p>72</p>
<p>Interpretación de Calidad de Agua para Casos con Potencial Intrusión Salina            Interpretation of Water Quality for Cases with Potential Saline Intrusion  <i>Andrés Lazo-Páez, Yuliana Solís-Castro</i> .....</p>	<p>82</p>
<p>Evaluación de riesgo sanitario de las playas de Costa Rica Periodo 2010-2017            Risk assessment of the Costa Rican beaches during the period 2010-2017  <i>Darner A. Mora-Alvarado, Jesús Vega-Molina,            Adriana González-Fernández</i> .....</p>	<p>97</p>
<p>Estimación de la calidad del agua para consumo humano en centros de salud de Costa Rica al 2017            Drinking-water quality estimation in health centres in Costa Rica 2017  <i>Darner A. Mora-Alvarado, Pablo C. Rivera-Navarro</i> .....</p>	<p>111</p>
<p>Agua para consumo humano: Costa Rica en el contexto mundial al año 2017            Drinking water: Costa Rica in the global context at the year 2017  <i>Darner A. Mora-Alvarado</i> .....</p>	<p>127</p>
<p>Clasificación de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica            Groundwater sources classification in Costa Rica  <i>Jimena Orozco-Gutiérrez</i> .....</p>	<p>138</p>
<p>Determinación de As(III) y As(V) en los pozos de las plantas de remoción de arsénico de Costa Rica            Determination of As(III) and As(V) in the wells of the arsenic removal plants in Costa Rica</p>	<p>147</p>
<p><i>Betzabel Arias-Barrantes, Azucena Urbina-Campos,            Ana Lorena Alvarado-Gámez</i> .....</p>	<p>147</p>
<p>Aporte del Programa Bandera Azul Ecológica en la lucha contra el cambio climático en Costa Rica            Contribution of Ecological Blue Flag Program to combat climate change in Costa Rica  <i>Darner A. Mora-Alvarado, Arcelio Chaves-Aguilar</i> .....</p>	<p>158</p>

# Los 55 años del Laboratorio Nacional de Aguas (1964-2019)

Darner A. Mora-Alvarado<sup>1</sup>

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4875>

El 14 de abril de 1961, durante la administración del Lic. Mario Echandi Jiménez, inició funciones el “Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados” (SNAA). Su fundamento legal fue la Ley 2726, y su principal propósito consistió en atender la crisis en el suministro de agua para consumo humano y alcantarillado en el Área Metropolitana de San José. En este contexto, y con el objetivo de vigilar y controlar la calidad del agua suministrada por las plantas, tanto potabilizadoras como de aguas residuales, se crea el “Laboratorio Central” (LC). Su sede se ubicó en la comunidad de Tres Ríos, en el centro del cantón de La Unión, iniciando funciones el 20 de setiembre de 1964 con la participación de 11 funcionarios, bajo el liderazgo persistente del Dr. Edgar Ortiz Castro (q.d.D.g.). Las instalaciones se localizaron en una casa construida en 1920, que se encontraban en las cercanías de la Planta Baja de Potabilización de AyA.

En concordancia con las funciones rectoras y operadoras del SNAA (hoy AyA), además de las obligaciones mencionadas y atribuidas por Ley, el LC también abordó la capacitación de funcionarios de plantas potabilizadoras, muestreo e inspecciones sanitarias, además de la vigilancia de la calidad del agua en sus diferentes usos. Posteriormente, y debido a la ampliación del SNAA a otras áreas urbanas del país, el LC fue creciendo en cumplimiento de sus nuevos objetivos. En la década de los años 70 incursionó en el muestreo y análisis de aguas marinas, específicamente de las playas de Limón y Puntarenas. Paralelamente, ingresaron a trabajar varios funcionarios graduados que fungieron como asistentes y luego como profesionales, entre los que podemos citar a los doctores en microbiología Ana Victoria Mata, Juan Carlos Rojas, Edgar González y Darner Mora, y los licenciados en química Victoria Pacheco, Marco Sequeira y José Miguel Ramírez, estos nuevos funcionarios impulsaron y realizaron estudios especiales en temas vinculados con el agua, el ambiente y la salud, entre los que se pueden citar::

- Estudio de la Calidad Sanitaria de la Playa de Limón Centro: 1981-1984.
- Criterios Bacteriológicos y Calidad Sanitaria de las Aguas de Playas de Costa Rica: 1986-1987.
- Evaluación de la Contaminación Orgánica de la Cuenca Virilla-Tárcoles: 1981-1985.

<sup>1</sup> Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Acueductos y Alcantarillados (AYA). Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr

- Evaluación de la Contaminación Fecal del Río Barranca.

Años después, sus estudios sirvieron de insumo para el desarrollo de proyectos como el “Emisario Submarino de Limón” y “Mejoramiento Ambiental de San José”, ambos fundamentales para el tratamiento de las aguas residuales y el mejoramiento del saneamiento en el país.

Entre 1990 y 1995, ante la emergencia provocada por la epidemia del cólera, el LC jugó un papel preponderante en la detección del *Vibrio cholerae* y en la elaboración del “Plan Nacional para Prevenir el Cólera en Costa Rica”. Aunado a esto, y como parte de la “Estrategia Nacional para Mejorar los Servicios de Agua Potable”, se implementaron las siguientes acciones:

- Conformación de equipos de trabajo para atender el control de calidad del agua, con funcionarios del LC y las Oficinas Regionales de AyA.
- Se implementó el “Código de colores” en el año 1991 para medir los avances de la calidad microbiológica de las aguas para consumo humano, el cual fue posteriormente aprobado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la tercera edición de las “Guías de Calidad del Agua” del año 2004.
- En 1996 se creó “Programa Bandera Azul Ecológica”, que involucra y empodera a la sociedad civil en la protección de recurso hídrico, el ambiente y la salud pública.

Ante la idoneidad técnica demostrada por el LC durante todos esos años, éste fue designado como “Laboratorio Nacional de Aguas” (LNA) mediante el Decreto Ejecutivo 26066-S, que le brindó nuevas potestades y responsabilidades, como la vigilancia de la calidad del agua suministrada por los acueductos municipales y comunales.

En el año 2002, después de realizar un proyecto piloto en la comunidad de San Roque de Grecia, la Junta Directiva de AyA aprobó la creación del “Programa Sello de Calidad Sanitaria” mediante el Acuerdo 2002-158, con el objetivo de incentivar a los entes operadores de acueductos a suministrar agua de calidad potable, en forma sostenible y en armonía con la naturaleza. En el año 2006, y con el afán de cumplir las metas en agua para consumo de los pasados “Objetivos de Desarrollo del Milenio”, promovidos por la OMS y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, se formalizó el “Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable: 2007-2015”, mediante el Decreto Ejecutivo 33953-MINAET-S, el cual sirvió de “catalizador” para ampliar la cobertura nacional con agua de calidad potable de 82,2% a 91,2% entre los años 2007 y 2015.

En el año 2008 el LNA logra acreditar 52 determinaciones, el muestreo simple y compuesto y la gestión ante el Ente Costarricense de Acreditación, con la Norma INTE/ISO-IEC 17025: 2005, número que en la actualidad suma ya 130 determinaciones; por su parte, en el 2015 acredita también cinco tipos de inspecciones sanitarias, pero con la Norma INTE/ISO-IEC 17020: 2012.

Más adelante, y continuando con una filosofía proactiva, el LNA propuso a la administración superior de AyA el “Programa Nacional para Disminuir las Brechas en los Servicios de Agua Potable: 2019-2030”, con el propósito de “no dejar a nadie atrás” en el acceso a este vital líquido, slogan de los nuevos “Objetivos de Desarrollo Sostenible”. Aunado a esto, en marzo de 2018 la Agencia de Protección Ambiental de los EUA reconoció, después de varias pruebas científicas, al LNA como “Centro de Referencia en Análisis de Aguas Residuales para Centro América y República Dominicana”, para el periodo 2019-2023.

A la luz de estos relevantes logros en 55 años de vigencia, y en un trabajo coordinado con el equipo editorial de la revista “Tecnología en Marcha”, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, se publica este número especial como homenaje y reconocimiento a la labor del LNA, que contiene los últimos doce estudios realizados por sus funcionarios en el periodo 2016-2019.

# Agua para consumo humano y saneamiento en Centros Educativos de Costa Rica al año 2017

## Drinking-water and sanitation in Educational Institutions in Costa Rica 2017

Darner A. Mora-Alvarado<sup>1</sup>, Pablo C. Rivera-Navarro<sup>2</sup>,  
Flora Acuña-Cubero<sup>3</sup>, Carlos Felipe Portuguez<sup>4</sup>

---

Mora-Alvarado, D; Rivera-Navarro, P; Acuña-Cubero, F; Portuguez, C. Agua para consumo humano y saneamiento en Centros Educativos de Costa Rica al año 2017. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 5-16.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4876>



- 1 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Acueductos y Alcantarillados (AYA). Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr
- 2 Funcionario Laboratorio Nacional de Aguas. Acueductos y Alcantarillados (AYA). Costa Rica. Correo electrónico: privera@aya.go.cr
- 3 Funcionaria Laboratorio Nacional de Aguas. Acueductos y Alcantarillados (AYA). Costa Rica. Correo electrónico: facuna@aya.go.cr
- 4 Gestor Ambiental. Funcionaria Laboratorio Nacional de Aguas. Acueductos y Alcantarillados (AYA). Costa Rica. Correo electrónico: fportuguez@aya.go.cr

## Palabras clave

Agua; calidad; centro educativo; potable; saneamiento.

## Resumen

Este estudio retrospectivo tiene como objetivo principal *“estimar la cobertura del agua para consumo humano y saneamiento en aguas residuales, en los centros educativos de Costa Rica al año 2017, con el propósito de establecer la línea base y las metas para la Agenda 2030, en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible”*. Para su cumplimiento, la metodología consistió en el análisis de datos de acceso a agua por mecanismo de abastecimiento, mediante el aporte del Ministerio de Educación Pública con su documento *“Infraestructura en las Escuelas y Colegios Públicos del 2017”*. Los datos de la calidad microbiológica del agua y las determinaciones de cloro residual, se obtuvieron del Programa de Vigilancia y Control de Calidad del Agua del Laboratorio Nacional de Aguas, en el marco del *“Programa Bandera Azul Ecológica”*. Los resultados obtenidos en los años 2016 y 2017 se compararon con los datos iniciales del 2004. Posteriormente, con información de calidad del agua del 2017 sobre infraestructura del Ministerio de Educación Pública, se aplicó la *“Escalera de Agua Potable”* de la UNICEF y la OMS para los centros educativos de Costa Rica. Con respecto al saneamiento o disposición de excretas de los centros educativos, también se utilizó información del Ministerio de Educación Pública, de donde se identificó el porcentaje de escuelas y colegios que usaron alcantarillado, tanques sépticos, letrinas o pozos negros y otros; además, se cuantificó el uso de inodoros y lavatorios en buenas condiciones. Los resultados indican que el acceso a agua en los centros educativos públicos lo suministran los acueductos rurales en un 52,9%, los municipios 5,6%, las cooperativas y/o empresas 2,2%, el AyA 21,5%; por su parte, otras fuentes utilizadas fueron pozos en 6,7%, ríos 9,0%, otras fuentes 0,3% y no respondieron la encuesta 0,8%. La calidad microbiológica del agua indica que, en el 2016, la cobertura fue de 94,2% de calidad potable, mientras que en el 2017 fue de 95,9%. La comparación o evolución de la calidad del agua -desde el punto de vista microbiológico- entre el 2004, el 2016 y 2017, demuestra un gran avance de 18,5 puntos porcentuales. La estimación de la aplicación de la *“Escalera del Agua Potable”*, sugiere que el 86,0% de los centros educativos se ubican en el eslabón de “Servicio avanzado”, 4,1% en “Servicio Básico”, en “Servicio Limitado” 6,7% y “Sin servicio” 11,1%. Con respecto al saneamiento, los centros educativos disponen sus excretas por alcantarillado en un 6,6%, tanques sépticos 89,5%, pozo negro 1,6%, otros mecanismos 0,2%, no tienen 0,2% y no contestaron 1,7%. El uso de inodoros y lavatorios en buenas condiciones fue de 87,8% y 90,1%, respectivamente. Por último, con esta información de línea base, se recomiendan metas en acceso a agua potable en los centros educativos para el 2022 y 2030, con datos de cobertura de 95% y 99% respectivamente. En el caso de saneamiento es fundamental eliminar el uso de pozos negros y contar en el 100% en las escuelas y colegios con inodoros y lavatorios en buenas condiciones, con jabón para el lavado de manos e higiene.

## Keyword

Quality; potable; sanitation; school; water.

## Abstract

The present study aims for estimating drinking-water coverage and sanitation within the educational institutions in Costa Rica in 2017, in order to establish the baseline and goals for the 2030 Agenda within the framework of the Sustainable Development Goals. The



methodology consisted in water data analysis from different sources: Ministry of Public Education (“*Infraestructura en las Escuelas y Colegios Públicos del 2017*”); microbiological water quality and free residual chlorine concentrations were obtained from the Drinking-water Quality Control and Surveillance Programme of the National Water Laboratory, within the framework of the *Bandera Azul Ecológica* programme. A comparison was made between the 2016-2017 data and the initial data recollected in 2004. Subsequently, the drinking-water ladder (created by the World Health Organization) was applied using 2017 data and information from the Ministry of Public Health. Percentages of schools that presented sewage system, septic tank, and latrines were obtained using information from the Ministry of Public Health regarding sanitation or excreta disposal. Likewise, the use of toilets and washbasin in good conditions was quantified. The results show that rural aqueducts supplied drinking-water to 52,9 % of the educational institutions, 5,6 % was supplied by municipalities, 2,2 % by cooperatives and/or enterprises, 21,5 % by AyA, 6,7 % by private wells, 0,9 % directly by rivers, 0,3 by other sources, and 0,8 did not answer the survey. Regarding microbiological water quality, in 2016 the drinking-water coverage was 94,2 %, whereas, in 2017 the coverage was 95,9 %. Drinking-water coverage was increased 18,5 % since 2004 to 2017. An estimation of the drinking-water ladder shows that 86,0 % of the educational institutions are classified as “Advanced service”, 4,1 % as “Basic service”, 6,7 % “Limited service”, and 11,1 % “No service”. As regards sanitation, 6,6 % of the educational institutions counted with sewage system, 89,5 % with septic tank, 1,6 % with well, 0,2 % with other mechanism, 0,2 % counted with none, and 1,7 % did not answer the survey. The use of toilets and washbasin in good conditions was 87,8 % and 90,1 % respectively. Lastly, this study established goals regarding potable drinking-water coverage within educational institutions for 2022-2030, and underlined that importance of eliminating the use of latrine and improving the conditions of toilets and washbasin in schools.

## Introducción

El acceso a los servicios de agua para consumo humano (ACH) y una adecuada disposición de excretas o saneamiento de aguas residuales, podrían convertir a los centros de educación (materno, prekindergarten, kindergartens, escuelas y colegios) en los primeros centros de atención primaria de la salud. Por el contrario, las deficiencias en ambos servicios pueden convertir a estos centros educativos en fuentes de propagación de enfermedades infecciosas [1], los cuales, ante la ausencia de agua de calidad potable y la escasez de servicios sanitarios con inodoros y lavatorios, con agua y jabón, propician la transmisión de gérmenes mediante el ciclo ano-mano-boca [2][3][4].

En razón de esto, el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) incorporó en su Programa de Vigilancia y Control de Calidad del ACH [5], el monitoreo de centros educativos para determinar la calidad del agua, mediante análisis de *Coliformes fecales* (CF) y cloro residual desde el año 2004. Con estos datos, en el año 2008 se publicó el primer estudio sobre la “*Calidad del Agua para Consumo Humano en Centros Educativos de Costa Rica en el Periodo 2004-2007*” [6], en donde se determinó que 22 de cada 100 centros educativos tenían agua contaminada con material fecal.

Esta investigación se adelantó a los solicitado en el 2016 por la UNICEF/OMS, en el documento titulado “Agua Gestionada en forma Segura” del Programa Conjunto de Monitoreo, en donde se incluye el aporte de “Agua más allá del hogar” [7], y con ello establece la obligatoriedad de incluir el monitoreo de la calidad del agua en centros educativos y centros de salud, con el propósito de establecer los datos “línea base”, buscar las mejoras para establecer las metas en el Objetivo 6 titulado “Agua Limpia y Saneamiento” en la Agenda para el 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, establecidos el 25 de setiembre del 2015 en la Asamblea General

de las Naciones Unidas, en Nueva York [8]. Fundamentados en estos antecedentes y el marco del programa Bandera Azul Ecológica (PBAE), específicamente en la Categoría de “Centros Educativos” [9][10] se presenta la cobertura de agua de calidad potable en dichos centros.

Además, apoyados en el documento del Ministerio de Educación Pública (MEP), titulado: “Infraestructura en Escuela y Colegios Públicos 2017 [11], se estima y extrapolan también las coberturas de saneamiento a los 5.167 centros de enseñanza en Costa Rica [12].

En este marco, se presenta el siguiente trabajo con el objetivo de “estimar la cobertura y calidad del ACH y, el acceso al saneamiento a aguas residuales en los Centros Educativos de Costa Rica al 2017, con el propósito de establecer la “línea base” y las metas para la Agenda 2030, en el marco de los “Objetivos de Desarrollo Sostenible”.

## Metodología

Para cumplir con los objetivos de este estudio, se establecen los siguientes pasos:

### Acceso a agua para consumo humano en centros educativos

El inventario o acceso a agua para consumo humano, según empresa o mecanismo de abastecimiento, se estimó, mediante el documento del MEP “Infraestructura en las Escuelas y Colegios Públicos del 2017”.

### Análisis retrospectivo de la calidad microbiológica del agua en centros educativos

Los datos de calidad de agua para consumo humano en centros educativos, se dividen en dos etapas:

#### *Calidad microbiológica del agua*

La calidad microbiológica del agua, se realizó mediante análisis de CF/100 mL y cloro residual en centros educativos, en el marco del Programa de Vigilancia y Control de Calidad del Agua para Consumo Humano del LNA y del PBAE, en los años 2016-2017.

#### *Comparación de datos*

Los resultados obtenidos en el periodo 2016-2017 se compararon con los datos del 2004.

### Implementación de la Escalera del Agua Potable

El cuadro 1 presenta las clasificaciones, y su respectiva descripción, utilizadas para desarrollar la herramienta de la “Escalera del Agua” para centros educativos.

### Acceso a saneamiento en aguas residuales en los centros educativos

#### *Evacuación de excretas*

Las coberturas de saneamiento en aguas residuales en los centros educativos públicos fueron aportadas por el MEP, mediante los reportes de infraestructura del 2017.

#### *Uso de inodoros y lavatorios*

La cobertura en el uso de inodoros y lavatorios en buen estado fue, también, aportado por el MEP, mediante su documento “Infraestructura en las Escuelas y Colegios Públicos 2017”.

**Cuadro 1.** Escalera de Agua Potable de OMS/OPS en Centros Educativos.

Nivel de servicio	Definición
Servicio avanzado	Debe definirse a nivel nacional (por ejemplo, el agua está disponible cuando se necesita, está accesible para todos, libre de contaminación, etc).
Servicio Básico	Se dispone de agua procedente de una fuente mejorada en la escuela, además se incluye en el caso de agua suministrada por cañería, pero con contaminación fecal o alguna sustancia química tóxica.
Servicio Limitado	Existe una fuente mejorada, pero el agua no está disponible en el momento de realizar la encuesta.
Sin servicio	Ausencia de fuente de agua o presencia de una fuente no mejorada.

FUENTE: OMS/UNICEF, con adaptación del LNA.

### *Direcciones regionales con mayor y menor acceso a agua y saneamiento*

Con los datos del MEP, se determinaron las 5 Oficinas Regionales con mayor y menor acceso a saneamiento en aguas residuales.

## Resultados

En concordancia con el objetivo y la metodología, a continuación se presentan los resultados de este estudio:

### Acceso a servicios de agua para consumo humano

En el cuadro 2, se resume el acceso a agua para consumo humano suministrada en el año 2017 por los centros educativos públicos, según la empresa operadora AyA, municipios, acueductos rurales, pozos y otros.

**Cuadro 2.** Acceso a Agua Potable para Consumo Humano en Centros Educativos Según Mecanismo o Empresa en Costa Rica: 2017

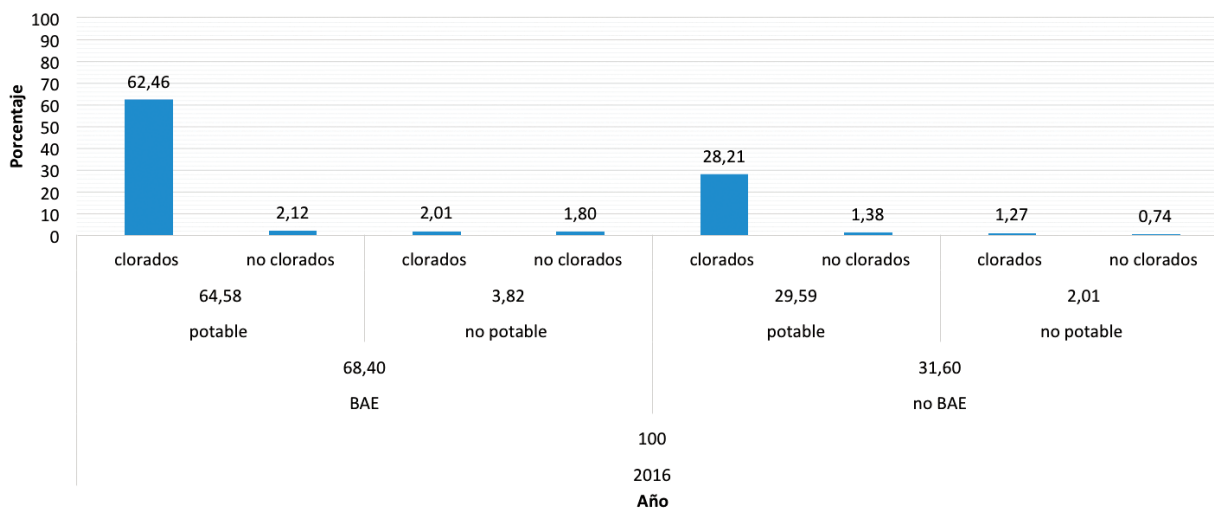
Agua Potable	Total	Acueduc. Rural	Acueduc. Municip.	AyA	Pozo	Río	No tiene	No Resp.	Otra fuente	Empresa Cooperat.
Datos Absolutos de centros	2.289	1.969	208	801	249	334	10	30	31	83
Datos Relativos	100%	52,9	5,6	21,5	6,7	9,0	0,3	0,8	0,3	2,2

FUENTE: MEP-Publicación N°382-17.

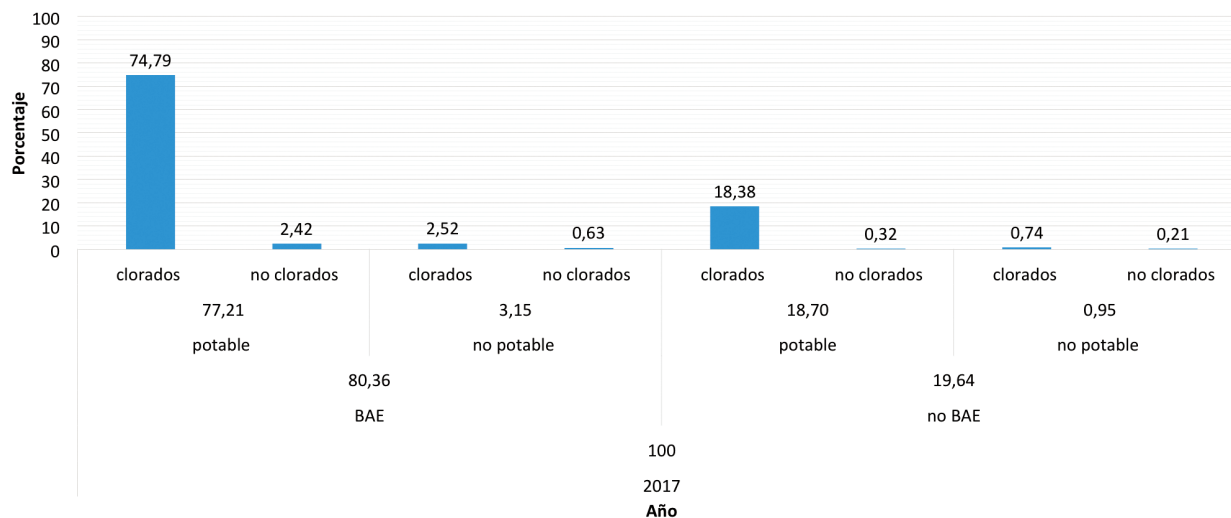
### Análisis retrospectivo de la calidad microbiológica del agua para consumo humano

#### *Calidad microbiológica del agua suministrada en centros educativos en los años 2016-2017*

En las figuras 1 y 2 se visualiza los porcentajes de cobertura con agua de calidad potable, en centros educativos participantes o no en el Programa Bandera Azul Ecológica, separados según acceso a agua con y sin cloración, en los años 2016 y 2017 respectivamente:



**Figura 1.** Calidad de Agua de consumo Humano en Centros Educativos Públicos 2016.



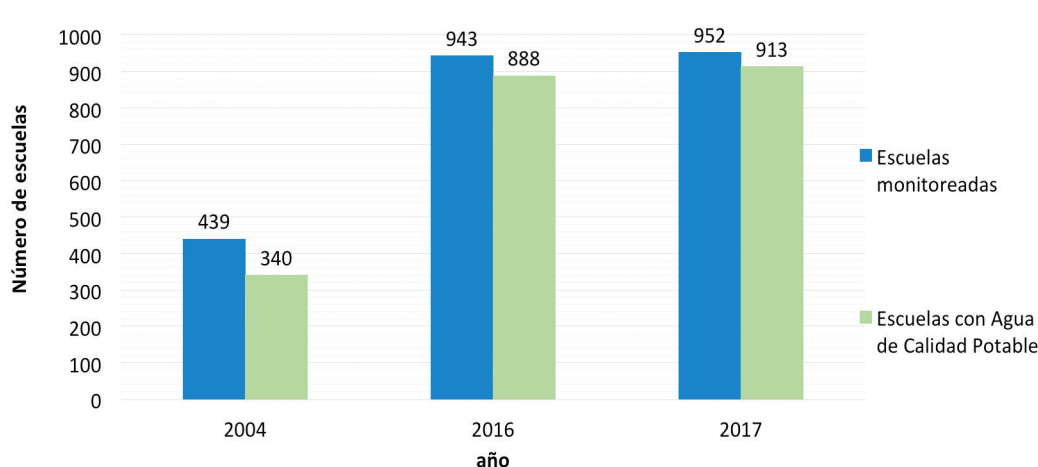
**Figura 2.** Calidad de Agua de consumo Humano en Centros Educativos Públicos 2017.

*Evolución de centros educativos con agua de calidad potable: 2004-2016-2017*

En la figura 3, se presenta la evolución comparativa entre las aguas evaluadas en los años 2004, 2016 y 2017. En este gráfico se presenta la cantidad de centros educativos evaluados y los que cuentan con agua de calidad potable, desde el punto de vista microbiológico.

*Estimación y aplicación de la Escalera de Agua Potable en centros educativos en Costa Rica: 2017*

La estimación de la aplicación de la Escalera del Agua Potable en centros educativos de Costa Rica, se realiza con los datos de calidad del agua potable del LNA y los datos aportados por el MEP en el año 2017, cuyos resultados se presentan en el cuadro 3 y en la figura 4.



**Figura 3.** Evolución de la Calidad del Agua en Centros Educativos 2004, 2016 – 2017. FUENTE: LNA y elaboración de los autores.

**Cuadro 3.** Aplicación de la Escalera de Agua Potable en Centros Educativos Públicos: 2017

Nivel de servicio	Definición	Cobertura por cañería 2017	Calidad microbiológica	Cobertura del país por cañería y otras fuentes
Servicio Avanzado	Debe definirse a nivel nacional (por ejemplo, el agua está disponible cuando se necesita, está accesible para todos, libre de contaminación, etc).	82,2%	95,9% (potable)	86,0% * (potable)
Servicio Básico	Se dispone de agua procedente de una fuente mejorada en centros educativos	ND	4,1 (por cañería)	4,1
Servicio Limitado	Existe una fuente mejorada, pero el agua no está disponible en el momento de realizar la encuesta.	---	ND	6,7 (pozos)
Sin servicio	Ausencia de fuente de agua o presencia de una fuente no mejorada.	---	ND	1,3 % 9,0 (Ríos) 0,8 (otros)
Total del país		82,2	100%	100%

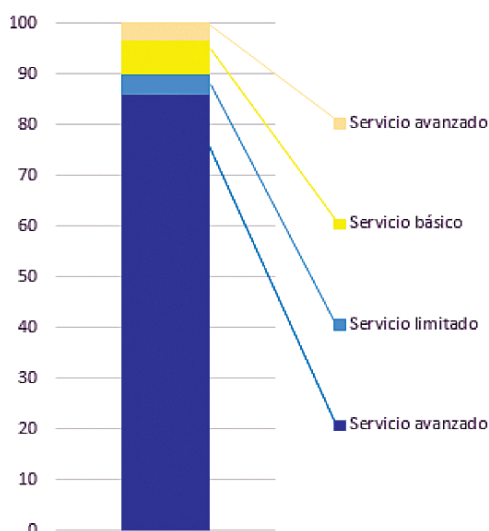
\*Corresponde al cálculo del 95,9% ("Calidad microbiológica") al dato de "Cobertura por cañería 2017".

ND: no determinado.

### Resultados de saneamiento e higiene

En los cuadros 4 y 5 se presentan los datos sobre acceso a saneamiento en aguas residuales y a inodoros y lavatorios, respectivamente, en los centros educativos de Costa Rica.

Por su parte, el cuadro 6 presenta el listado de las Direcciones Regionales de MEP, con respecto a la cobertura con agua y saneamiento.



**Figura 4.** Escalera de agua potable en Centros Educativos de Costa Rica 2017.

**Cuadro 4.** Acceso a Saneamiento en Aguas Residuales en Centros Educativos de Costa Rica: 2017.

Saneamiento	Total	Alcantarillado sanitario	Tanques septicos	Pozo negro letrina	Otros salida	No tiene	NP
Datos Absolutos	3.741	247	3.328	61	7	6	65
Datos Relativos	100%	6,6	89,5	1,6	0,2	0,2	1,7

FUENTE: MEP-Publicación N°382-17.

**Cuadro 5.** Acceso a Inodoros y Lavatorios en los Centros Educativos Públicos en Costa Rica 2017.

Acceso a inodoros y lavatorios	Total inodoros	Buenos	Lavatorios total	Buenos
Datos Absolutos	17.063	14.985	12.298	11.075
Datos Relativos	100%	87,8%	100%	90,1%

FUENTE: MEP-Publicación N°382-17

**Cuadro 6.** Identificación de las Direcciones Regionales del MEP con menor cobertura a agua y saneamiento

Direcciones Regionales con menor acceso a agua por cañería		Direcciones Regionales con menor acceso a saneamiento en Aguas Residuales	
Sulá	43,6%	Sulá	22,4% pozo negro
Sarapiquí	60,2%	Turrialba	5,1% pozo negro
Turrialba	61,4%	Grande de Térraba	4,2%
Térraba	64,6%	Santa Cruz	3,5%
Coto	72,3%	Nicoya	2,5%

FUENTE: elaborado por los autores y MEP

## **Análisis de resultados: conclusiones y recomendaciones**

En concordancia con el objetivo, la metodología y los resultados, a continuación se realiza un análisis de los mismos.

### **Inventario de los mecanismos de acceso a agua en los centros educativos públicos**

De conformidad con los datos aportados por el MEP sobre “Infraestructura es escuelas y colegios públicos del 2017”, descritos en el cuadro 3, indican que del total de los 2289 centros evaluados:

- En 1969 (52,0%), se abastecen de agua por un acueducto rural.
- En 801 (21,5%) se abastecen de agua por fuente del AyA.
- 208 centros, es decir 5,6% se abastecen por medio de acueductos municipales.
- 83 centros educativos (2,2%) fue abastecido por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y cooperativas.

En resumen, el 82,2% de los centros educativos públicos, son abastecidos mediante agua por cañería y 10 centros no tienen acceso a agua, lo cual equivale a 0,3%, el restante 17% de escuelas y colegios se abastecen de agua por: pozos 249 (6,7%), ríos 334 (9,0%), otras fuentes 31 (0,3%).

### **Cobertura de centros educativos con agua sin contaminación fecal**

#### *Calidad del agua en centros educativos*

De la observación de las figuras 1 y 2, se demuestra que, en el año 2017, el procesamiento de los datos con agua de calidad potable-desde el punto de vista microbiológico-en los centros educativos participantes en el Programa Bandera Azul Ecológica fue en el 2017 del 77,2% y no potable 3,15%. Para los centros educativos que no participan en el PBAE: 18,7% no tenían contaminación fecal y 0,95% no potable para un total de centros con agua potable de 77,2% más 18,7% de 95,9%. Este resultado es superior al dato del 2016 con 64,6% potable en centros educativos con el PBAE y 29,6% en centros educativos no PBAE del 94,2%.

#### *Evolución de Centros Educativos con Agua sin contaminación fecal*

La comparación de los datos obtenidos en el año 2004, 2015 y 2017 sobre la calidad microbiológica del agua en los centros educativos, demuestran una mejora importante pasando de 77,4% de agua sin contaminación fecal a 94,2% y 95,9% en los años 2016 y 2017, respectivamente.

Estos resultados son concordantes con los porcentajes el acceso a agua de calidad potable obtenidos a nivel nacional, estimados por el Laboratorio Nacional de Aguas, en los respectivos informes de cobertura y calidad del agua de los años: 2004, 2016 y 2017 [13][14][15], de 82,8%, 91,8% y 93,9%.

#### *Estimación y aplicación de la Escuela del Agua Potable en los centros educativos de Costa Rica: 2017*

Con la información del cuadro 3, los resultados indican que:

- El 82,2% de los centros educativos públicos recibieron agua por cañería interna y que, si bien el 95% recibió agua sin contaminación fecal, se estima que el 86,0% de los centros educativos reciben agua mediante un “Servicio Avanzado” y 1,6% por letrinas o pozo negro.

- La evaluación de la calidad microbiológica demuestra que el 4,1% del agua suministrada en centros educativos presentaba contaminación fecal, por lo que se clasificó como “Servicio básico”.
- Los 249 centros educativos que se abastecieron con agua de pozo (6,7%) se ubican en la clasificación de “Servicio limitado” de la Escalera del agua Potable, debido a que se desconoce la calidad del agua que abastecen.
- Las escuelas abastecidas por medio de ríos (9,0%) con otras fuentes (0,3%), sin agua (0,3%) y que no respondió la información solicitada por el MEP, se ubicaron en el escalón denominado “Sin servicio”.
- Estos datos de la Escalera del Agua Potable en Centros Educativos, es una estimación debido que no se incluye en el documento del MEP, los centros educativos privados, y las universidades públicas y privadas ubicadas en todo el país.

### Acceso a saneamiento en aguas residuales en centros educativos

Del cuadro 5, se identificó que los Centros Educativos evacuan sus excretas en un 89,5% por tanque séptico, 6,6% por alcantarillado, 1,6% por letrinas o pozos negros, 0,2% por otros tipos, 0,2% no tiene y 1,7% no respondió.

### Inodoros y lavatorios en buenas condiciones

El cuadro 6 identifica que del total de 17.063 inodoros inventariados en los centros de educación, 14.985 (87,8%) estaban en buenas condiciones. Con respecto a los lavatorios, de 12.298 evaluados un total de 11.075 (90,1%) estaban en buenas condiciones.

### Direcciones Regionales del MEP con menor cobertura de agua y saneamiento en el 2017

Las Direcciones Regionales del MEP con menor acceso a agua por cañería son: Sulá, Sarapiquí, Turrialba, Térraba y Coto.

Las Direcciones Regionales con menor acceso a disposición de excretas a saneamiento por tanques sépticos y alcantarillado son: Sulá, Turrialba, Grande de Térraba, Santa Cruz y Nicoya.

## Conclusiones y recomendaciones

El análisis de los resultados nos permite realizar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### Conclusiones

- El 95,9% de los análisis de *Coliformes fecales*/100 mL, realizados en los centros educativos públicos en el 2017, indican que el agua fue de calidad potable.
- La evolución de la mejora en la calidad del agua demuestra un avance, pasado del 77,2% en el 2004 a 94,2% y 95,9% en los años 2016 y 2017, respectivamente.
- La estimación de la aplicación de la “Escalera del Agua Potable en Centros Educativos”, indica que el 86,0% se ubica en el máximo escalón “Servicio Avanzado”, el 4,1% en “Servicio Básico”, el 6,7% en “Servicio Limitado” y 11,1% se clasifica como “Sin servicio”.



- Con respecto al saneamiento en aguas residuales la mayoría de los centros educativos evacuan sus excretas por tanques sépticos (89,5%) y alcantarillado (6,6%).
- Con el análisis sobre las condiciones de los inodoros y lavatorios con datos del MEP, se concluye que el 87,8% y 90,1%, respectivamente, estaban en buenas condiciones en el 2017.
- Los datos de Costa Rica del año 2017 son superiores a los resultados obtenidos en otras latitudes del mundo, de acuerdo a la comparación con datos reportados en el 2013 por la UNICEF y la OMS [16].

## Recomendaciones

Es evidente que estos resultados señalan avances en la calidad microbiológica del agua para consumo en escuelas y colegios en Costa Rica; sin embargo, se sugiere ampliar la vigilancia de la calidad del agua con parámetros fisicoquímicos del agua que utilizan los estudiantes y los educadores y personal administrativos de los centros educativos.

- Paralelo a esto es importante ampliar los Centros educativos en el Programa Bandera Azul Ecológica.
- Con respecto a la aplicación de la “Escalera del Agua Potable”, es necesario que el LNA separe los centros educativos públicos y privados, y a ambos casos se analice la calidad del agua microbiológica y fisicoquímicamente.
- Con fundamento a la línea base obtenida en el 2017 de la Escalera del Agua Potable, se propone avanzar en el escalón de “Servicio Avanzado” de 86% a 95% en el 2022 y a 99% en el 2030. Estas metas son concordantes con las metas de acceso a agua potable a nivel nacional en Costa Rica, en ambos periodos.
- En el saneamiento a aguas residuales, los centros educativos ubicados en las Direcciones Regionales con menor acceso, es necesario focalizar las acciones para eliminar las letrinas o escusados de hueco.
- Por último, es necesario que todos los centros educativos tengan acceso a agua de calidad potable por cañería interna; además, es fundamental que un 100% de servicios sanitarios cuenten con inodoros, lavatorio en buenas condiciones, con papel y jabón para el correcto lavado de manos de los estudiantes.

## Referencias

- [1] OMS. *Encuesta Mundial de Salud a Escolares*. Documento en línea: [www.who.int/nads/surveillances/gshs](http://www.who.int/nads/surveillances/gshs).
- [2] Léo Heller. *Saneamiento y salud*. Brasilia OPS/OMS; 1997; pág. 1-83.
- [3] Matilde Riquelme Pérez. *Educación para la Salud Escolar*. En: AEPap ed. Curso de Actualización Pediatría 2006. Madrid Exibris Ediciones; 2006: pág. 6-185.
- [4] Centro de Recursos de Promoción y Educación para la Salud. *Escuelas Promotoras de Salud*. Región de Murcia, España; 2014; sp.
- [5] Laboratorio Nacional de Aguas. *Programa de Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. La Unión, Cartago. LNA; 2004; sp.
- [6] Darner A. Mora, Johanna Méndez, Carlos F. Portuguez. *Estudio de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Centros Educativos en Costa Rica: 2004-2007*. La Unión, Cartago. LNA; 2009: pág. 1-15.
- [7] OMS/UNICEF. *Agua Potable gestionada de forma segura*. New York, EUA; 2017; pag 1-83.
- [8] Organización Mundial de las Naciones Unidas. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. En línea:[www.undp.org/content/undp/home](http://www.undp.org/content/undp/home).

- [9] Darner A. Mora Alvarado, Arcelio Chavez Aguilar. *Programa Bandera Azul Ecológica. Revista del 15 aniversario*. San José. Editorial Campo Directo; 2011: pág. 1-85.
- [10] Poder Ejecutivo de Costa Rica. *Decreto Ejecutivo N°31648-MEP-MINAE-S-TUR: Creación de la III Categoría de Centros Educativos*. San José. La Gaceta N°52-2004.
- [11] Eliecer Ramirez Vargas, et al. *Infraestructura en Escuelas y Colegios Públicos 2017*. San José. Ministerio de Educación Pública; setiembre; 2017: sp.
- [12] Departamento de Análisis Estadístico del MEP. *Expansión del Sistema Educativo Costarricense 2017*. San José, Costa Rica; Dirección de Planificación MEP; 2017; sp.
- [13] Darner A. Mora Alvarado, Carlos Felipe Portuguez. *Situación de Cobertura y Calidad del Agua para Consumo Humano al 2004*. La Unión, Laboratorio Nacional de Aguas; 2005: pág. 1-15.
- [14] Darner A. Mora Alvarado, Carlos Felipe Portuguez. *Agua para Consumo Humano al 2016. Metas al 2022 y 2030*. La Unión, laboratorio Nacional de Aguas; 2017: pág. 1-24.
- [15] Darner A. Mora Alvarado, Carlos F. Portuguez Barquero. *Agua Potable Saneamiento: Coberturas en Viviendas y más Allá del Hogar*. La Unión, Laboratorio Nacional de Aguas; 2018, pág 1-24.
- [16] OMS/UNICEF. *25 Progresos en Materia de Saneamiento y Agua Potable*. Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM. Nueva York; 2015: pág. 1-80.

# Calidad sanitaria de las aguas superficiales en litorales de Costa Rica: situación del 2012 al 2018

## Sanitary quality of surface waters in littorals of Costa Rica: situation from 2012 to 2018

Andrei Badilla-Aguilar<sup>1</sup>, Darner A. Mora-Alvarado<sup>2</sup>

---

Badilla-Aguilar, A; Mora-Alvarado, D. Calidad sanitaria de las aguas superficiales en litorales de Costa Rica: situación del 2012 al 2018. *Tecnología en Marcha. Tecnología en Marcha.* Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 17-25.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4877>



- 1 Laboratorio Nacional de Aguas, Unidad de Investigación en Agua, Ambiente y Salud. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: abadilla@aya.go.cr.
- 2 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr. .

## Palabras clave

Playas; cuerpos de agua superficiales; coliformes fecales; contaminación fecal.

## Resumen

Las playas de Costa Rica representan la fuente de turismo más importante para las zonas costeras del país. Sin embargo, la presencia en la playa de aguas superficiales contaminadas con bacterias indicadoras de contaminación fecal puede suponer un riesgo sanitario para los bañistas. En este trabajo, se compilaron las densidades de coliformes fecales de 123 cuerpos de agua ubicados en 84 playas de los litorales Pacífico y Caribe de Costa Rica. Los cuerpos de agua se clasificaron según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales. Los resultados mostraron que ningún cuerpo de agua se clasificó como Clase 1, un 55% de los cuerpos de agua se clasificaron como Clase 2, un 17% como Clase 3 y el 11% y 17% fueron clasificados como Clase 4 y Clase 5, respectivamente. Los tres ríos más contaminados se detectaron en Playa Jacó: Anita, Copey y Naranjal. Los resultados anteriores se pueden explicar por factores como el crecimiento urbanístico; el tratamiento deficiente de aguas residuales; y la ausencia de un alcantarillado sanitario en algunas comunidades. Existe una evidente necesidad de mejorar el tratamiento de aguas residuales en zonas costeras con el fin de causar el menor impacto posible en el agua de mar y ambientes aledaños.

## Keywords

Beaches; surface water bodies; fecal coliforms; fecal contamination.

## Abstract

The beaches of Costa Rica represent the most important tourism source for coastal zones in the country. Nevertheless, the presence on the beach of surface waters contaminated with fecal indicator bacteria, can suppose a sanitary risk for bathers. In this work, fecal coliforms densities were compiled from 123 bodies of water located in 84 beaches of the Pacific and Caribbean littorals of Costa Rica. The bodies of water were classified according to the *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales*. The results showed that none of the bodies of water was classified as Class 1, a 55% of the bodies of water were classified as Class 2, a 17% as Class 3 and the 11% y 17% were classified as Class 4 and Class 5, respectively. The three most contaminated rivers were detected in Playa Jacó: Anita, Copey y Naranjal. The previous results can be explained by factors like the urban growth; the deficient treatment of residual waters; and the lack of a sanitary sewerage in some communities. There is a clear need to improve the treatment of wastewater in coastal areas in order to cause the least possible impact on seawater and surrounding environments.

## Introducción

Costa Rica posee gran cantidad de playas que atraen a millones de turistas anualmente [1]. Datos del Instituto Costarricense de Turismo [2] señalan que para el 2015 arribaron a territorio costarricense 2,6 millones de turistas, de los cuales, al menos un 27% realizó actividades relacionadas con sol y playa. Sin embargo, muchas de estas playas están impactadas por fuentes puntuales de contaminación, lo que hace a las costas lugares muy vulnerables a ser degradados e inutilizados como espacios de recreación [3].

Las variaciones en la calidad del agua de mar pueden ocurrir en respuesta a eventos puntuales o al deterioro constante del ambiente aledaño a la playa [4]. La difusión de contaminación proveniente de fuentes puntuales de contaminación como ríos quebradas o esteros, representa una amenaza sanitaria, que puede incluso degradar totalmente los ambientes costeros [5] [6]. Una correcta estimación de la salud ambiental de la playa debe tomar en cuenta la calidad de las aguas superficiales que desembocan en el mar, debido a que representan un factor importante en la gestión de la costa [4] [7].

Las desembocaduras de ríos o esteros contaminados pueden llevar altas cargas de patógenos de diversas fuentes hacia las costas [5]. Las descargas de aguas residuales domésticas y las aguas industriales provenientes de industria animal representan afluentes contaminantes para los cuerpos de agua que desembocan en los océanos [4].

Las aguas recreacionales contaminadas con materia fecal pueden acarrear problemas de salud para las personas, especialmente para aquellos que realizan actividades que impliquen el contacto directo o la ingesta accidental del agua [8]. Se conoce que cada año los humanos, los mamíferos silvestres y las aves descargan billones de toneladas de materia fecal en el ambiente, incluyendo cuerpos de agua [9].

En el caso de Costa Rica, las aguas superficiales se clasifican según el Reglamento Para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales [10]. Dicho reglamento evalúa la calidad del agua basándose en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con el objetivo de clasificar los cuerpos de agua en 5 clases, las cuales determinan los usos posibles del agua. Esfuerzos realizados en conjunto con el Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE), permiten que el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) evalúe anualmente la calidad sanitaria de cuerpos de agua ubicados en playas de Costa Rica. El presente trabajo tiene como objetivo recopilar la información de contaminación por coliformes fecales de cuerpos de agua presentes en playas de Costa Rica durante el período 2012-2018. Además, clasificar según las concentraciones de coliformes fecales y la reglamentación costarricense, los cuerpos de agua identificados en diferentes playas.

## **Materiales y métodos**

### **Selección de cuerpos de agua superficiales**

Se seleccionaron 123 cuerpos de agua superficiales ubicados en 84 playas de las provincias de Limón, Guanacaste y Puntarenas. La selección se llevó a cabo por medio de datos recopilados entre 2012 y 2018 por el PBAE Categoría Playas y el programa Proceso de Calidad del Agua (PCA), ambos del LNA. Se eligieron cuerpos de agua que presentaran dos o más muestreos en al menos dos años diferentes.

### **Muestreo y análisis de coliformes fecales**

Se analizaron los datos de coliformes fecales (CF) de 1335 muestras de agua provenientes de desembocaduras de ríos, quebradas y/o esteros ubicados en los litorales Pacífico y Caribe. Las muestras se recolectaron en envases tanto de 100 mL como de 250 mL. Los coliformes fecales se determinaron utilizando alguna de las siguientes tres técnicas: Fermentación en tubos múltiples con 3 tubos; fermentación en tubos múltiples con 5 tubos; y técnica enzimática con sustrato definido (Colilert®). Los datos se reportaron como Número Más Probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 mL.

## Análisis de datos

Se calcularon los promedios geométricos de coliformes fecales (CF) para cada uno de los cuerpos de agua identificados. Los cálculos se llevaron a cabo con el paquete estadístico SPSS versión 25 [11].

## Clasificación de los cuerpos de agua para diferentes usos

Según las concentraciones de coliformes fecales (promedios geométricos), cada cuerpo de agua se clasificó con base en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales 33903-MINAE-S [9]. La clasificación se realizó tomando en cuenta únicamente la variable de coliformes fecales con base en los criterios que se describen en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Clasificación de cuerpos de agua según las densidades de coliformes fecales. Fuente: Decreto N° 33903, 2017.

Promedio Geométrico CF/100mL	Clases según Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpo de Agua Superficiales 33903-MINAE-S (2007)				
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
<20	x				
20-1000		x			
1000-2000			x		
2000-5000				x	
>5000					x

Por su parte, los potenciales usos del cuerpo de agua, basados en coliformes fecales, se asignaron según lo establecido en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales 33903-MINAE-S [10].

## Resultados y discusión

Se recopilaron los datos de concentraciones de coliformes fecales (NMP/100 mL) de 123 cuerpos de agua superficiales localizados en 84 playas ubicadas en las provincias de Guanacaste, Limón y Puntarenas. Además, se calcularon los promedios geométricos de coliformes fecales para cada uno de los cuerpos de agua y se clasificaron según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales [10].

### Guanacaste

En el cuadro 2, se observa de manera general la clasificación, según el decreto Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales (33903-MINAE-S) de los cuerpos de agua de agua identificados en playas de la provincia de Guanacaste.

Se identificaron 30 cuerpos de agua superficial localizados en 22 playas de la provincia de Guanacaste durante el período 2012-2018. Los promedios geométricos de los cuerpos de agua oscilaron entre  $3 \times 10^1$  NMP/100 mL y los  $1 \times 10^4$  NMP/100 mL. De los 30 cuerpos de agua, ninguno se clasificó como Clase 1. Mientras que un 77% de los cuerpos de agua se clasificó

como Clase 2. Dicha clasificación indica que estos cuerpos de agua pueden ser utilizables para la recreación humana que involucre contacto primario y para el abastecimiento humano con tratamiento convencional, pero no se pueden utilizar como fuente de equilibrio natural de comunidades acuáticas ni es permitido realizar actividades de navegación [10].

Por su parte, un 13% de los cuerpos de agua se clasificó como Clase 3, lo que los convierte en ambientes no utilizables para la recreación, además tampoco pueden ser utilizados como fuentes de protección y conservación de comunidades acuáticas, ni tampoco como medio para realizar acuicultura o para el riego de hortalizas que se consuman crudas. Un 3% y un 7% de los cuerpos de agua identificados en las playas de Guanacaste, se clasificaron en Clase 4 y Clase 5, respectivamente. Estas últimas dos clases clasifican los cuerpos de agua como no aptos para la recreación humana de contacto primario, ni para la conservación o protección de especies. Tampoco son utilizables para el riego de hortalizas, especies arbóreas ni como fuente de abastecimiento de agua para consumo humano.

**Cuadro 2.** Número de cuerpo de agua y su respectiva clasificación según niveles de contaminación fecal de cuerpos de agua ubicados en playas de la provincia de Guanacaste, Costa Rica.

Provincia	Cuerpos de agua	Clasificación (33903-MINAE-S)				
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Guanacaste	30	0	23	4	1	2

## Puntarenas

Con respecto a los cuerpos de agua de las playas de Puntarenas, en el cuadro 3 se muestra el detalle de cada cuerpo con su respectivo promedio geométrico de coliformes fecales y su clasificación:

**Cuadro 3.** Números de cuerpos de agua y su respectiva clasificación según niveles de contaminación fecal de cuerpos de agua ubicados en playas de la provincia de Puntarenas, Costa Rica.

Provincia	Cuerpos de agua	Clasificación (33903-MINAE-S)				
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Puntarenas	74	0	63	19	9	13

Según los datos obtenidos en el período 2012-2018, se identificaron 74 cuerpos de agua superficiales en cuarenta y seis playas de la provincia de Puntarenas. Ninguno de los cuerpos de agua se clasificó como Clase 1. Mientras que, un 54% se clasificaron como Clase 2, lo que los hace aptos para actividades de contacto primario. El 20% y 11% de los cuerpos de agua superficiales se clasificaron como Clase 2 y Clase 3, respectivamente. Ambas clases no son aptas para las actividades de recreación que involucren contacto primario. Finalmente, un 15% se clasificó como Clase 5, lo que implica que obtuvieron promedios geométricos mayores a  $5 \times 10^3$  NMP/100 mL, por lo tanto, no son aptos para las actividades de contacto primario.

Todos los cuerpos de agua ubicados en Playa Jacó mostraron niveles de contaminación por coliformes fecales no menores a  $10^3$  NMP/100 mL. Resultados que concuerdan por lo expuesto por [12], quien señala que estos niveles de contaminación se pueden explicar por el desordenado crecimiento urbanístico que ha tenido la comunidad de Jacó en las últimas décadas. Este hecho, aunado al tratamiento deficiente de aguas residuales, conforman los dos factores principales que propician la contaminación de ríos y quebradas en la zona. Cabe destacar que los resultados obtenidos en el estero ubicado en Playa Quepos ( $4 \times 10^4$  NMP/10 mL), concuerdan con el crecimiento urbanístico y comercial que dicha comunidad ha experimentado en la última década.

### Limón

En el cuadro 4, se observa el detalle de los cuerpos de agua ubicados en las playas de la provincia de Limón, además de sus niveles de contaminación y sus respectivas clasificaciones:

**Cuadro 4.** Números de cuerpos de agua y su respectiva clasificación según niveles de contaminación fecal de cuerpos de agua ubicados en playas de la provincia de Limón, Costa Rica.

Provincia	Cuerpos de agua	Clasificación (33903-MINAE-S)				
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Limón	19	0	4	2	5	8

CF: promedio geométrico de coliformes fecales

En el caso de las playas del litoral caribe, durante el período 2012-2018 se identificaron 19 cuerpos de agua superficiales ubicados en 16 playas distintas. Ninguno de los cuerpos de agua fue clasificado como Clase 1. Además, un 21% de los cuerpos de agua se clasificaron como Clase 2, o sea, con menos de  $1 \times 10^3$  coliformes y aptos para el contacto primario y el abastecimiento de agua para consumo humano con tratamiento convencional.

Por su parte, dos cuerpos de agua se clasificaron como Clase 3, lo que los hace no utilizables para actividades recreativas de contacto primario y para riego de hortalizas que se ingieran crudas, además no son utilizables como fuentes de conservación y protección de comunidades acuáticas. El 26% y 42% de los cuerpos de agua, se clasificaron como Clase 4 y Clase 5, respectivamente. Dichas clasificaciones convierten a los cuerpos de agua en ambientes no aptos para actividades de contacto primario ni para ser fuentes de abastecimiento. Además, el Decreto 33903-S [10] establece que los cuerpos de agua clasificados como Clase 4 y Clase 5, tampoco son utilizables para el riego de hortalizas o frutas para la acuicultura.

Los resultados obtenidos en el Río Limoncito, son concordantes con dos estudios realizados por Mora [13, 14] en los cuales señala que desde hace más de 20 años los niveles de contaminación fecal en dicho río superan los  $2.5 \times 10^3$  coliformes fecales (NMP/100mL). Dicho río recorre partes pobladas de la ciudad de Limón antes de desembocar en el mar caribe, es por ello que se sugiere que la mayor proporción de contaminación de este río proviene de fuentes humanas.

### Litorales

El recopilado de los resultados de clasificación de los 123 cuerpos de agua en playas de las provincias de Guanacaste, Puntarenas y Limón se ordenó según litorales: Caribe y Pacífico. Un resumen de dicha recopilación se puede observar en el cuadro 5.



**Cuadro 5.** Resumen de la clasificación de cuerpos de agua superficiales identificados en los litorales Caribe y Pacífico, Costa Rica.

Litoral	Cuerpos de agua	Clasificación (33903-MINAE-S)				
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Caribe	19	0	4	2	5	8
Pacífico	104	0	64	19	8	13
Total	123	0	68	21	13	21
Porcentaje total	100%	0%	55%	17%	11%	17%

De acuerdo con los resultados obtenidos, cabe destacar que poco más de la mitad (55%) del total de los cuerpos de agua fueron clasificados como Clase 2, lo que significa que pueden ser utilizados para: actividades de contacto primario; abastecimiento de agua para consumo humano (con tratamiento convencional); acuicultura; y riego de hortalizas y frutas que se consumen crudas o sin cáscara, respectivamente.

Sin embargo, casi una quinta parte (17%) posee niveles de coliformes fecales mayores a  $5 \times 10^3$  NMP/100 mL (Clase 5). Por la calidad de sus aguas, estos ríos no son utilizables para la mayoría de los usos potenciales, excepto para la navegación. En general, poco menos de la mitad de los ríos (45%) fueron clasificados como no aptos para: actividades de contacto primario; abastecimiento de agua para consumo humano; y riego de hortalizas y frutas.

Entre el período de 2012 a 2018, el Laboratorio Nacional de Aguas monitoreó 67 cuerpos de agua superficiales más que los monitoreados en el período de 1996 a 2011 [14]. Los cinco cuerpos de agua superficial que presentaron mayores niveles de contaminación por coliformes fecales fueron: la desembocadura de la Quebrada Anita en Playa Jacó; la desembocadura del Río Copey en Playa Jacó, la desembocadura del Río Naranjal en Playa Jacó; el Estero ubicado en Playa Quepos; y la desembocadura del Río Limoncito en Playa Limón. Todos estos cinco cuerpos de agua mostraron promedios geométricos de coliformes fecales mayores a 30000 NMP/100 mL.

De manera contraria con lo expuesto por Mora [14] en el estudio de calidad sanitaria de esteros y desembocaduras de ríos entre el período 1996-2011, no se logró clasificar ningún cuerpo de agua como Clase 1. En cuanto a las clasificaciones que implican mayor contaminación y menos usos potenciales para el agua, 13 cuerpos de agua se clasificaron como Clase 4, que representa un incremento de 6 cuerpos de agua con respecto a lo expuesto por [14]. Mientras que, 21 cuerpos de agua (17%) se clasificaron como Clase 5, lo que significa un incremento de 5 cuerpos de agua más en comparación con los 16 reportados por Mora [14]. Estos datos pueden sugerir un aumento en la contaminación de cuerpos de agua, la cual puede verse modificada por factores ambientales y antropogénicos.

Las ubicaciones de los ríos más contaminados concuerdan con lo expuesto por Mora [3] en una evaluación de riesgo sanitario de playas de Costa Rica llevada a cabo de 2010 a 2017. Dichos autores señalan que Playa Jacó, donde se encuentran la Quebrada Anita y los Ríos Copey y Naranjal, posee un riesgo sanitario clasificado como muy alto, inducido en gran parte por la influencia de estas aguas superficiales. En el caso de la desembocadura del Río Limoncito, esta se encuentra en Playa Cieneguita, que también se clasifica como una playa de riesgo muy alto [3].

## Conclusiones

Más de dos tercios de los cuerpos de agua ubicados en las playas del litoral Caribe se encuentran con niveles preocupantes de coliformes fecales mayores a 1000 NMP/100 mL.

Los niveles de coliformes fecales detectados en cuerpos de agua de Playa Quepos y Playa Jacó, evidencian la necesidad de un alcantarillado sanitario en ambas comunidades.

Los cuerpos de agua con los niveles más altos de coliformes fecales se encuentran en comunidades con alto desarrollo social, urbanístico y comercial.

Es necesaria una complementación de análisis tradicionales con determinaciones fisicoquímicas y de biología molecular para poder determinar el origen de la contaminación de los cuerpos de agua superficiales.

## Recomendaciones

Mejorar la inversión pública y privada en el establecimiento y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales en las comunidades costeras de Costa Rica, con el fin de causar un menor impacto en cuerpos receptores y posteriormente en el agua de mar.

El Ministerio de Salud debe mejorar la vigilancia de fuentes puntuales de contaminación en ríos, quebradas y esteros presentes en las costas, los cuales representan un problema de salud pública para los bañistas y visitantes de las playas.

El Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones debe mejorar la aplicación del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales con el fin de buscar la mejora de cuerpos de agua que se encuentran con altos niveles de contaminación y cuyos usos son muy reducidos (Clase 4 y Clase 5).

## Referencias

- [1] M. Velarde y S. Gómez, Turismo Sustentable y Desarrollo Rural: Estudios en Polonia, Costa Rica y México., Guadalajara, México: Editorial Universitaria-Libros UDG, 2014.
- [2] Instituto Costarricense de Turismo (ICT), «Plan Nacional de Desarrollo Turístico de Costa Rica: 2017-2021,» Dirección de Planeamiento y Desarrollo, San José, Costa Rica, 2017.
- [3] D. A. Mora, J. A. Vega y A. González, «Evaluación de Riesgo Sanitario de las Playas de Costa Rica Período 2010-2017,» *Laboratorio Nacional de Aguas*, 2018.
- [4] World Health Organization (WHO), «Guidelines for safe recreational water environments: Coastal and fresh waters (Vol. 1),» World Health Organization, Ginebra, Suiza, 2003.
- [5] P. D. Abel, *Water Pollution Biology*, 2 ed, Londres, Inglaterra: T & F, 1996.
- [6] M. J. Sadowsky y R. L. Whitman, *The Fecal Bacteria*, Washington DC, USA: American Society for Microbiology Press, 2010.
- [7] Agencia Nacional de Aguas y Banco Interamericano de Desarrollo, «Panorama de calidad de aguas superficiales de Brasil,» ANA, Sao Paulo, Brasil, 2012.
- [8] G. Rees, «Health implications of sewage in coastal waters-the British case,» *Marine Pollution Bulletin*, vol. 26, n° 1, pp. 14-19, 1993.
- [9] K. G. Field y M. Samadpour, «Fecal source tracking, the indicator paradigm, and managing water quality,» *Water research*, vol. 41, pp. 3517-3538, 2007.
- [10] Decreto Ejecutivo N° 33903-S, «Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales,» de *Diario Oficial La Gaceta: 178*, San José, Costa Rica, 2007.
- [11] IBM, *IBM SPSS Statistics for Windows, ver 25.0*, Armon, NY, USA, 2017.
- [12] D. A. Mora, «Calidad sanitaria de las aguas de Playa Jacó,» *Revista Costarricense de Salud Pública*, vol. 18, pp. 5-90, 2009.

- [13] D. A. Mora, «Calidad microbiológica de las aguas superficiales de Costa Rica,» *Revista Costarricense de Salud Pública*, vol. 13, n° 24, pp. 15-31, 2004.
- [14] D. A. Mora, «Calidad sanitaria de los esteros y/o desembocaduras de ríos en litorales de Costa Rica: 1996-2011,» *Laboratorio Nacional de Aguas*, 2011.
- [15] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), «Protection Water Quality From Urban Runoff,» EPA, Washington DC, Estados Unidos, 2003.

# Agua para consumo humano en Costa Rica: de los objetivos de desarrollo del milenio a los objetivos de Desarrollo Sostenible

## Drinking-water in Costa Rica: from millennium development goals to Sustainable Development goals

Darner A. Mora -Alvarado<sup>1</sup>, Carlos Felipe Portuguez-Barquero<sup>2</sup>

---

Mora-Alvarado, D; Portuguez-Barquero, C. Agua para consumo humano en Costa Rica: de los objetivos de desarrollo del milenio a los objetivos de Desarrollo Sostenible. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 26-36.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4878>

1 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.

2 Gestor Ambiental. Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: fportuguez@aya.go.cr.



## Palabras clave

Agua; calidad; desarrollo; objetivo; servicio; sostenible.

## Resumen

El presente estudio analiza los avances de Costa Rica con el paso de los “Objetivos de Desarrollo del Milenio” a los “Objetivos de Desarrollo Sostenible”, usando el nuevo concepto “Agua potable gestionada en forma segura”, para establecer metas al 2022 y 2030. Se utilizaron los resultados de los informes anuales de cobertura y calidad del agua del Laboratorio Nacional de Aguas (1991-2015), y el Informe de OMS/UNICEF “25 Progresos en Materia de Saneamiento y Agua Potable en el Mundo” como fuente de datos para este estudio. En cuanto a cobertura con agua suministrada por cañería, los resultados indican que Costa Rica (97%), al utilizar el concepto de cobertura con agua de calidad potable en lugar de “Fuentes de Agua Potable Mejoradas”, avanzó más que el promedio mundial (58%) y el latinoamericano (89%) en el periodo 1990-2015. Respecto a la calidad del agua, Costa Rica pasó de un 50% de población con agua de calidad potable a un 91,2% en el periodo de 1990-2015. Además, en 2017 la cobertura de agua potable, libre de contaminación fecal y química, fue del 93,3%, estableciendo las metas para 2022 y 2030 del 95% y 99% respectivamente. Por último, se recomienda ejecutar la estrategia para mejorar la calidad de los servicios de agua potable de 1989 al 2030, con el fin de alcanzar la universalización del suministro de los servicios de agua potable en Costa Rica.

## Keywords

Water; quality; development; objective; service; sustainable.

## Abstract

The present study analyzes the progress made in Costa Rica regarding “Clean water and Sanitation”, since the implementation of the Millennium Development Goals from 1990 to 2015 and the Sustainable Development Goals from 2016 to 2030. The results from the annual reports of drinking-water coverage and quality made by the *Laboratorio Nacional de Aguas* (1991-2015), and data from the WHO/UNICEF report “25 Progress on Drinking-water, Sanitation and Hygiene” were used as source of information data for this study. In terms of coverage with water supplied by pipe, the results indicate that Costa Rica (97%) has made more progress than the rest of the world (58%) and Latin America (89%) within the period 1990-2015. Regarding water quality, Costa Rica went from 50% of the population with water of potable quality to 91.2% within the period of 1990-2015. Additionally, in 2017 the coverage of potable drinking-water –free from faecal and chemical pollution- was 93.3 %, stablishing the goals for 2022 and 2030 of 95 % and 99 % respectively. Lastly, this study recommends to carry out the strategy to improve the quality of drinking-water services from 1989 to 2030, in order to universalize the water supply in Costa Rica.

## Introducción

En setiembre del año 2000 representantes de 189 países se dieron cita en la “Cumbre del Milenio”, realizada en Nueva York, para adoptar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), promovidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF); los mismos tenían como propósito emprender una acción consensuada para mejorar el ambiente y la salud pública<sup>(1)</sup>. Para medir el avance en las coberturas de acceso con agua potable en cada país, los mencionados organismos

internacionales crearon el “Programa Conjunto de Monitoreo” (PCM) <sup>(2)</sup>. La meta del ODM 7, impulsa a los países a *“Reducir para el 2015, la proporción de personas, sin acceso sostenible a agua potable y saneamiento”*.

Para efectos del presente estudio se aborda el acceso o cobertura con “Fuente mejorada de agua potable”, la cual fue definida como *“una que por la naturaleza de su construcción a través de una intervención activa está protegida de la contaminación externa, en particular de la contaminación con materia fecal”*. Para permitir la comparación internacional de los datos, se han clasificado distintos tipos de fuentes de agua tanto en “Fuentes mejoradas” como en “Fuentes no mejoradas” <sup>(3)</sup>. Dicho sistema de clasificación toma en cuenta características geológicas propias de la fuente, características estructurales de la toma de agua y aspectos relacionados con el sistema de distribución.

Utilizando esta clasificación, 189 países de la “Cumbre del Milenio” realizaron una estimación de la línea base de calidad del agua para 1990 a 2015. El análisis llevado a cabo indicó que, a nivel global, los países pasaron de un 76% de cobertura con agua potable en 1990 a un 91% en el 2015 <sup>(5)</sup>. Sin embargo, en 2017 la OMS comunicó que al menos 1.800 millones de personas, con acceso a fuentes de agua potable mejoradas, utilizaban agua que presentaba contaminación fecal, lo que significaba un riesgo para la salud de los usuarios <sup>(6)</sup>.

En 2015, la OMS formuló los nuevos “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS) <sup>(7)</sup>. En el número seis “Agua Limpia y Saneamiento” <sup>(8)</sup>, se plantea el objetivo de *“Garantizar la disponibilidad a agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos, específicamente lograr para al 2030 el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos”*. En razón de la comprobación de las deficiencias detectadas en el concepto “Fuentes mejoradas de agua potable”, la OMS y el PCM lo sustituyeron por un nuevo término denominado “Agua potable gestionada en forma segura” <sup>(9)</sup>, que se define como *“Agua para consumo proveniente de una fuente mejorada, ubicada dentro de la vivienda o en el patio o parcela, disponible en todo momento, necesario y libre de contaminación fecal y sustancias químicas”* tóxicas prioritarias (flúor y arsénico).

A nivel nacional, el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) prepara informes anuales de cobertura y calidad del agua, en donde se realizan estimaciones sobre el suministro de agua por cañería intradomiciliar y de su calidad <sup>(10, 11)</sup>, fundamentados en resultados de análisis microbiológicos y físico-químicos, que responden a las exigencias de las diferentes versiones del “Reglamento para la Calidad del Agua Potable”. <sup>(12, 13, 14, 15)</sup>. Por otro lado, también estableció los datos línea-base para los años 2016 y 2017, sobre la cobertura y calidad del agua para consumo humano (ACH) en viviendas y más allá del hogar, en centros educativos y en centros de salud <sup>(16, 17, 18)</sup>. Fundamentados en la evolución de los conceptos de la OMS, este estudio tiene como objetivo presentar la variación de los datos de cobertura y la calidad del ACH en Costa Rica, con la sustitución del Objetivo 7 de los ODM por el Objetivo 6 de los ODS, entre el periodo 1990-2015, los datos línea-base 2016-2017, y las metas establecidas para los años 2022 y 2030.

## Metodología

### Coberturas del suministro de agua como fuentes de agua potable en Costa Rica: 1990-2015.

#### Datos de OMS/UNICEF

Con base en este antiguo concepto, mediante el informe “25 Progresos en Agua Potable y Saneamiento del 2015” de OMS/UNICEF, se estimó el avance, en términos de promedio de cobertura del ACH con “Fuentes de agua potable mejoradas” del mundo, América Latina y El Caribe y Costa Rica, del periodo 1990-2015.

## Cobertura y calidad del agua en Costa Rica según LNA 1990-2015

La cobertura y calidad del ACH se obtuvo de 2 informes anuales realizados por el LNA en 1991 y 2015: Situación Actual del Agua para Consumo Humano y Aguas Residuales en Costa Rica; 1991 <sup>(19)</sup>; y Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Costa Rica al 2016: metas al 2022 y 2030 <sup>(20)</sup>.

## Calidad del agua en Costa Rica al año 2017

Con el informe titulado “Agua Potable y Saneamiento: coberturas en viviendas y más allá del Hogar en Costa Rica al 2017”, se definieron los datos línea-base y la escalera de los servicios de abastecimiento de agua potable en Costa Rica al 2017.

### Objetivo de Desarrollo Sostenible: “Escalera del Agua” potable gestionada en forma segura

El ODS 6 “Agua Limpia y Saneamiento”, además de establecer el nuevo concepto “Agua potable gestionada en forma segura” estableció la “Escalera del Agua Potable Doméstica”. Esta escalera clasifica el nivel de servicio en: gestionado de forma segura, básico, limitado, no mejorado y sin servicio <sup>(19)</sup>

## Metas de cobertura y calidad del agua para consumo humano al 2022 y 2030 en Costa Rica

Las metas de cobertura y calidad del agua potable se establecieron con base en los datos línea-base del informe indicado en el punto 2.3. Dichas metas se dividen en dos periodos: 2017-2022 y 2023-2030.

## Evolución y expectativas del suministro de agua de los ODM (1990-2015) a los ODS (2017-2030)

Mediante la aplicación de los datos y la escalera de cobertura (ODM) y de calidad de los ODS 6, se presenta mediante figuras y gráficos la evolución desde 1990 al 2015, datos línea-base 2017 y las expectativas con las metas propuestas para el 2022 y 2030.

## Resultados

### Cobertura con Fuentes de Agua Potable Mejoradas: 1990-2015

Según OMS/UNICEF

En el cuadro 1 e presentan las coberturas mediante fuentes de agua potable mejoradas en el mundo, América Latina y Costa Rica, durante los años 1990 y 2015.

### Estimación de escaleras de “Fuentes de Agua Potable Mejoradas” 1990-2015

De conformidad con lo indicado por OMS/UNICEF a través del PCM, respecto a la clasificación de los servicios según los ODM, en la figura 1 se presenta la comparación de las escaleras de agua para consumo humano para los años 1990 y 2015, correspondientes al mundo, América Latina y Costa Rica.

### Según el LNA

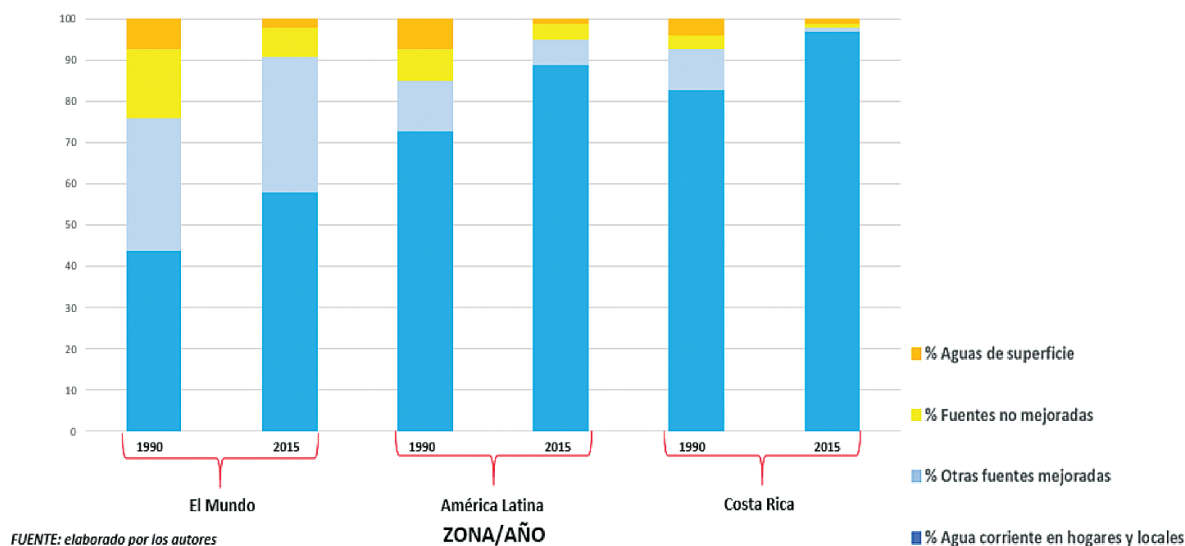
Mientras que el PCM solamente medía el avance de cobertura por cañería, pozos y nacientes, mediante el concepto de “Fuente de Agua Potable Mejoradas”, el LNA estimaba la cobertura de población que recibía agua de calidad potable, a través del “Programa de Vigilancia y la Calidad del Agua para Consumo Humano”. Para el año 1990, el LNA estimó que el 97,4% de la población total del país fue abastecida a través de alguno de los entes operadores oficiales

(AyA, municipios, ESPH, Acueductos Rurales), más agua con fácil acceso a pozos, nacientes y otros; por su parte, 93,4% recibió agua por cañería y el 50% fue abastecida con agua de calidad potable. El informe anual del LNA para el año 2015, permitió estimar que el 98% de la población total recibió agua por cañería intradomiciliar, mientras que el porcentaje de población abastecida con agua de calidad potable ascendió a 91,2%.

**Cuadro 1.** Porcentaje de cobertura del mundo, América Latina y Costa Rica con Fuentes de Agua Potable Mejoradas 1990-2015

Zona	Año	Total Mejoradas	Agua por cañería	Otras fuentes Mejoradas	Fuentes No protegidas	Agua superficial
Mundo	1990	76	44	32	17	7
	2015	91	58	33	7	2
América Latina	1990	85	73	12	8	7
	2015	95	89	6	4	1
Costa Rica	1990	93	83	10	3	4
	2015	98	97	1	1	1

Fuente: OMS/UNICEF: 2015



**Figura 1.** Escalera de agua de Cobertura con FAPM según ODM en el mundo, América Latina y Costa Rica: 1990-2015.

### Cobertura y calidad del agua para consumo humano 2017

En el cuadro 2 se presentan los datos de cobertura y calidad del agua para el año 2017. Los mismos permitieron calcular el porcentaje de población abastecida con “Agua potable gestionada en forma segura”, además de los otros tipos de servicios indicados en la “Escalera de Agua” potable doméstica de los ODS.



**Cuadro 2.** Agua para consumo humano: estimación general de cobertura y calidad en Costa Rica – periodo 2017.

Abastecimiento	N°	Población cubierta		Población con agua potable		Población con agua No Potable		Acueductos	
		Acueductos	Población	%	Población	%	Población	%	Pot.
AyA	204	2.325.452	47,0	1.302.198	99,0	23.254	1,0	173	31
Municipalidades	237	623.057	12,6	593.151	95,2	29.906	4,8	217	20
ESPH	14	224.665	4,6	224.665	100	0	0	14	0
CAAR'/ASADAS *	956	996.143	20,1	847.718	85,1	148.425	14,9	718	238
CAAR'/ASADAS **	1.267	583.644	11,8	496.681	85,1	86.963	14,9	952	315
Subtotal por entidad operadora	2.678	4.752.961	96,1	4.464.413	94,0	288.548	6,0	2.074	604
Otros con cañería intradomiciliar ***	ND	22.081	0,4	20.756	94,0	1.325	6,0	ND	ND
Otros con agua por cañería en el patio ***	ND	151.865 (1)	3,1	1421.753	94,0	9.112	6,0	ND	ND
Subtotal de población abastecida por cañería ***	2.678	4.926.907	99,6	4.627.922	94,0	298.985	6,0	2.074	604
Sin tubería: pozos-nacientes ***	ND	19.793 (1)	0,4	18.605	94,0	1.188	6,0	ND	ND
<b>TOTALES</b>	<b>2.678</b>	<b>4.946.700 (1)</b>	<b>100</b>	<b>4.646.527</b>	<b>93,9</b>	<b>300.173</b>	<b>6,1</b>	<b>2.074</b>	<b>604</b>

Fuente: LNA e INEC.

ND: no determinado.

(1) Población estimada por el INEC con la ENAHO julio 2017.

\* Evaluados en el periodo 2015 al 2017, con un 85,1% de población con agua potable.

\*\* De acuerdo a la metodología, se aplica el 85,1% obtenido en los acueductos evaluados.

\*\*\* Se aplica el 94,0% obtenido en el subt

En el primer trimestre del año 2018, el LNA estimó las coberturas de los servicios de agua potable gestionados en forma segura del año 2017 para viviendas, centros educativos y centros de salud. Estos datos sirvieron para establecer una línea-base de calidad, que permitieron proponer las metas para el 2022 y 2030 del ODS 6 “Agua Limpia y Saneamiento, en el marco de los “Objetivos de Desarrollo Sostenible”. En este sentido, los datos línea-base se presentan a continuación en el cuadro 3 mediante la aplicación de la “Escalera del Agua”:

### Metas en el suministro de agua potable al 2022 y 2030 en Costa Rica

El cuadro 4 resume la situación actual de línea-base de calidad de los servicios de agua potable para los años 2016-2017, y las metas planteadas para los años 2022 y 2030.

**Cuadro 3.** Aplicación de la “Escalera del Agua Potable” en Costa Rica (periodo 2017)

Agua potable gestionada de forma Segura	Fuente mejorada ubicada en las instalaciones, “disponible cuando sea necesario”, y libre de contaminación.	94,0%*
Servicio básico	Fuentes de agua mejoradas en 30 minutos, incluido ida y vuelta, o en las instalaciones pero con contaminación.	5,6%
Servicio limitado	Fuente de agua mejorada que consigue agua por encima de 30 minutos, incluido ida y vuelta.	0,0%
Servicio no mejorado	Fuente de agua no mejorada que no protege de la contaminación.	0,4%
Sin servicio	Agua superficial.	0,0%

Nota : \*dato de 93,9 % redondeado a 94,0 %.

Fuente : elaborado por los autores.

**Cuadro 4.** Actividades y Metas de Calidad de los Servicios de Agua Potable para los Periodos 2016-2017 y Metas para el 2022 y 2030

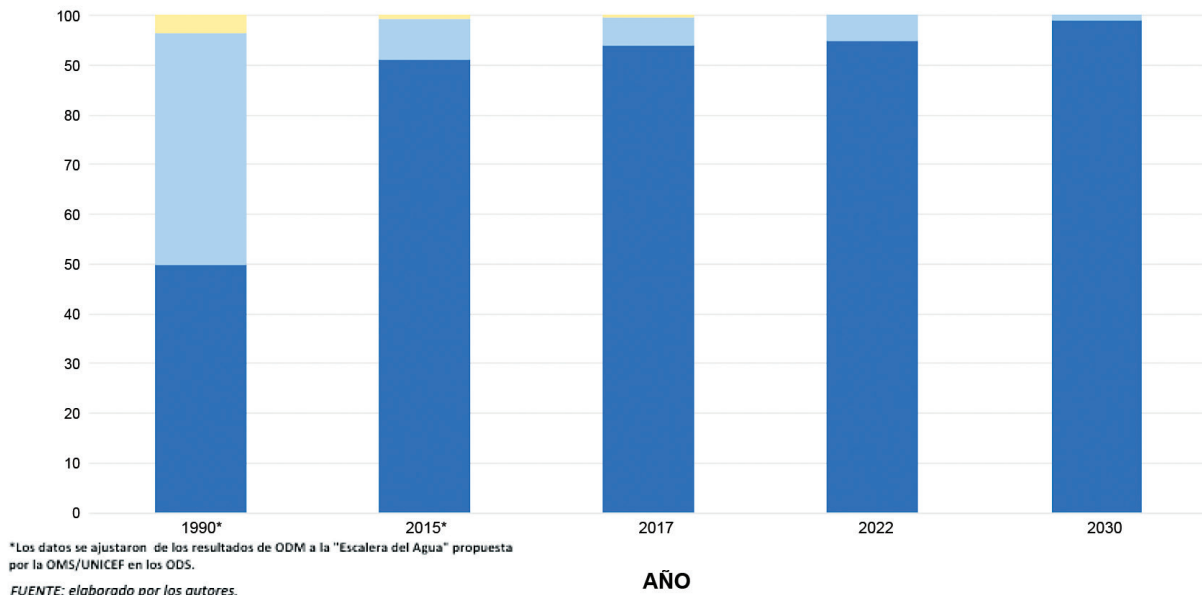
Actividad	Indicador	Situación actual 2016-2017	Meta 2022	Meta 2030
Cobertura de agua por cañería	Porcentaje cobertura	99.5 – 99.6	99.9	100
Cobertura de agua por cañería intradomiciliar	Porcentaje cobertura	99.5 -99.6	98.5	100
Cobertura de población con agua de calidad potable	Porcentaje cobertura	91.8 – 93.9	95	99
Cobertura de población con agua sometida a control de calidad	Porcentaje población	74.1 – 73.6	85	99
Cobertura de población con agua con tratamiento/desinfección	Porcentaje población	86.3 – 88.8	95	99
Acueductos con Planes de Seguridad del Agua	Nº acueductos	75**	850	1.250
Acueductos con agua de calidad potable	Nº acueductos	1.878 – 2.074	2.200*	2.562*
Porcentaje de acueductos con agua de calidad potable	Nº acueductos	72.9 – 77.4	85	99
Acueductos con Programa Sello Calidad de Sanitaria (PSCS)	Nº galardonados	563***	845 (50%)	1.226 (100%)
Población con agua sometida a PSCS	Población con agua de acueductos con PSCS	2.430.709** (49,7%)	3.649.361 (70.0%)	4.420.013 (80%)

\*Se toma comobase los datos del 2016 y 2017 de 2.547 y 2.678 acueductos monitoreados, respectivamente. Este valor aumenta conforme se incremente el inventario anual de acueductos.

\*\*Dato del año 2016.

## Evolución y expectativas del suministro de agua de los ODM (1990-2015) a los ODS 2017-2022 y 2023-2030

En la figura 2 se presenta evolución y las expectativas de los servicios de agua potable de los ODM (1990-2015) a los ODS (2022 y 2030), y según la clasificación de la “Escalera del Agua” propuesta en los ODS.



**Figura 2.** Escalera del Agua para Consumo Humano según ODS en Costa Rica. Periodos 1990, 2015, 2017, 2022 y 2030.

## 4. Análisis de resultados

La decisión del LNA de realizar informes anuales de cobertura y calidad del ACH suministrada en Costa Rica, ha permitido no solo valorar los avances en cobertura bajo el concepto de la OMS/UNICEF de “Fuentes de Agua Potable Mejorada”, sino también las coberturas de población que recibió agua de calidad potable por cañería intradomiciliar, determinada así a través de análisis físico-químicos y microbiológicos. Es decir, Costa Rica ha sido uno de los pocos países en el mundo que reportó el porcentaje de “Fuentes de Agua Potable Mejorada” como sinónimo de agua de calidad potable, para el periodo 1990-2015.

### Avance de Costa Rica en “Fuentes de Agua Potable Mejoradas”

Estimación de la escalera de Fuentes de Agua Potable Mejoradas: 1990-2015

Como se observa en el cuadro 1 y figura 1, Costa Rica logró avanzar en el suministro de agua por cañería de un 83% en 1990 a 97% en el 2015, mientras que el mundo pasó de un 44% a 58% y América Latina del 73% a 89%, en el mismo periodo. Estos datos, reflejan las aplicaciones de las escaleras de acceso a Fuentes Mejoradas de Agua Potable en el mundo, América Latina y Costa Rica, lo cual permite observar un avance superior en nuestro país de 39% con respecto al mundo en el suministro de agua por cañería y 8% con respecto a América Latina.

### Cobertura y calidad del agua para consumo humano 1990 y 2015 según el LNA

Según el “Programa de Vigilancia y Control de Calidad del Agua para Consumo Humano” del LNA, se estimó que: El país pasó de 93,4% a 97,4% de agua suministrada por cañería entre los años 1990 y 2015; y la cobertura de población cubierta con agua de calidad potable para 1990 se estimó en 50%, y para el 2015 alcanzó el 91,2%.

### Datos línea-base en agua potable gestionada en forma segura

Con los datos del informe anual del LNA al 2017, se estimó que Costa Rica logró alcanzar de agua por cañería intradomiciliar de 96,1% y 3,5% por cañería fuera de la vivienda, para un total de 99,6% por todo tipo de cañería. Además, alcanzó la cobertura máxima de agua de calidad potable del 93,9%.

### Metas de servicios de agua potable gestionados en forma segura al 2022 y al 2030

Las metas de agua suministrada por “Servicios de Agua Potable Gestionado en Forma Segura”, indican que en el año 2022 Costa Rica debe alcanzar un 95% y en 2030 entre 99% y el 100% de cobertura. Para lograr estas metas, es necesario la aplicación de lo estipulado en la “Política Nacional en Agua Potable” <sup>(21)</sup>, incorporar los centros educativos y de salud en la vigilancia y control de calidad del agua, y establecer o ampliar el “Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable 2017-2030” <sup>(22)</sup>. Por otro lado, para cumplir con parte del ODS 6, es fundamental estimar el dato del servicio de agua potable, complementado con el de calidad y continuidad de los servicios, establecidos en el documento titulado “Índice de Calidad y Continuidad de los Servicios de Agua Potable en Costa Rica” <sup>(23)</sup>.

### Evolución y expectativas del suministro de agua potable de los ODM (1990-2015) a los ODS (2017-2030)

La evolución de la cobertura y calidad del ACH en Costa Rica ha estado precedida por diferentes situaciones como: la creación del “Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados” (SNAA) en 1961 <sup>(24)</sup>; la creación del “Programa Nacional de Acueductos Rurales” en 1966; y la Implementación de la estrategia para mejorar la calidad de los servicios de agua potable entre 1989 y el 2030, la cual incluye los siguientes aspectos:

- Elaboración de informes de cobertura y calidad del agua para consumo y saneamiento por parte del LNA.
- En 1991 se creó el “Código de Colores”, para medir el avance de la calidad del agua por acueducto.
- Conformación de comités locales dentro del marco del “Programa Bandera Azul Ecológica”, creado en el Laboratorio Central del AyA en el año 1996.
- Se promovió y ejecutó la designación del Laboratorio Central del AyA como Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), Decreto Ejecutivo 26066-S del mes de junio del 1997.
- En 2002 se implementó la iniciativa del “Programa Sello de Calidad Sanitaria” (PSCS).
- Del 2002 al 2006 se implementó el “Programa Nacional de Mejoramiento de la Calidad del Agua Potable” (PNMCAP), con los componentes: “Protección de Fuentes”, “Vigilancia y Control de Calidad del Agua”, “Tratamiento y/o Desinfección”, “Normalización y Legislación”, “Evaluación de Riesgo en los Acueductos” y “Autosostenibilidad, Movilización Social y Educación”.
- En el 2007 se estableció, vía Decreto 33953-S-MINAE, el “Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable 2007-2015” (PNMSCSAP) <sup>(25)</sup>.

## Conclusiones

La cobertura con ACH de 1990 y 2015, indica que Costa Rica pasó de 83% a 97%, lo que superó el promedio mundial de 44% a 58%, y de América Latina de un 73% a 89%.

Costa Rica prácticamente no aplicó el concepto de “Fuentes de Agua Potable Mejoradas” de la OMS/UNICEF, y en su lugar utilizó la cobertura de agua de calidad potable, avanzando de un 50% en 1990 a un 91,2% en el 2015.

A los datos de calidad del agua de Costa Rica de 1990 y 2015 se les aplicó la herramienta de la “Escalera del Agua Potable Doméstica”, para evolucionar de los ODM a los ODS, y así poder compararlos con los resultados del 2017 y las metas planteadas al 2022 y 2030, como lo muestra la figura 2.

El paso del dato de suministro de ACH de los ODM (1990-2015) a los ODS (2015,) indican que Costa Rica podría alcanzar la universalización del suministro de agua gestionada en forma segura en el 2030, siempre y cuando se cumpla con los lineamientos de la Política Nacional de Agua Potable, y la estrategia establecida por el LNA desde 1989 y hasta el 2017, y su ampliación al 2030.

## Recomendaciones

Complementar el dato de la calidad del agua con el parámetro de continuidad del servicio, para lo cual es fundamental aplicar el “Índice de Calidad y Continuidad del Servicio”, elaborado por el LNA y el Área Operativa de AyA en el año 2017.

Continuar con la elaboración de los Informes de Cobertura y Calidad del Agua para Consumo y Saneamiento en Centros Educativos y Centros de Salud en Costa Rica, además de ampliar la estrategia para mejorar la calidad de los servicios de agua potable al año 2030, y más allá.

## Referencias

- [1] Barboza K; Ortega W. 2015. Objetivos de Desarrollo del Milenio. III Informe país 2015. San José, Costa Rica. MIDEPLAN; PAG 1-99.
- [2] Organización Panamericana de la Salud. 2011. Agua y Saneamiento. Washington, D.C.20037, EUA; OPS; pag 1-65.
- [3] OMS/UNICEF. Preguntas fundamentales sobre agua potable y saneamiento para encuestas de Hogar. OMS/UNICEF; JMP. [www.wssinfo.org](http://www.wssinfo.org).
- [4] OMS. 2004. Guías de Calidad del Agua Potable. Tercera Edición. Volumen 1. Recomendaciones. OMS; Ginebra, Suiza; Pag 90-92.
- [5] OMS/UNICEF. 2015. 25 Progresos en materia de saneamiento y agua potable. Informe de actualización 2015 y evaluación de ODM. Ginebra 27, Suiza. Impr.en Nueva York; sp.
- [6] OMS. 2017. 1800 millones de personas en todo el mundo utilizan fuentes de agua con contaminación fecal. OMS; En: [amp.infosalus.com](http://amp.infosalus.com)
- [7] OMS. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Documento en línea. ONU; [www.undp.org>content>undp>home](http://www.undp.org/content/undp/home).
- [8] PNUD. Costa Rica. Objetivo 6. Agua Limpia y Saneamiento. PNUD; En línea. [www.cr.undp.org](http://www.cr.undp.org).
- [9] OMS/UNICEF. 2017. Agua potable gestionada en forma segura. OMS/UNICEF; Nueva York; pag 53.
- [10] Mora D; Portuguez C. 2002. Situación de cobertura y calidad del agua para Consumo Humano y disposición de excretas en Costa Rica a finales del año 2001. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; sp.
- [11] Mora D; Mata A; Portuguez C. 2016. Agua para Consumo Humano y Saneamiento y su relación con los indicadores básicos de Salud en Costa Rica: Objetivos de Desarrollo del Milenio y la Agenda para el 2030. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; Pag 1-19.
- [12] Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana. 1995. Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano. San José, Normas CAPRE; pag: 1-17.



- [13] Poder Ejecutivo. 1997. Reglamento para la Calidad del Agua Potable. San José, Costa Rica. La Gaceta N°100 del 27 de mayo. Decreto Ejecutivo N°25991-S; pag: 1-3.
- [14] Poder Ejecutivo. 2005. Reglamento para la Calidad del Agua Potable. San José, Costa Rica. Decreto Ejecutivo 32327-S; La Gaceta N°84 del 03 de mayo; Pag 1-16.
- [15] Poder Ejecutivo. 2015. Reglamento para la Calidad del Agua Potable. San José. Costa Rica. Decreto Ejecutivo 38924-S. La Gaceta N°170 del 01 de setiembre.
- [16] Darner A. Mora; Carlos F. Portuguez B. Agua Potable y Saneamiento: Cobertura en Vivienda y más allá del Hogar en Costa Rica al 2017. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2017: pag 1-28.
- [17] Darner A. Mora; Pablo Rivera; Flora Acuña; Carlos F. Portuguez. Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Centros Educativos de Costa Rica al año 2017. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2018: pag 1-12.
- [18] Darner A. Mora; Pablo Rivera. Estimación de Calidad del Agua para Consumo Humano en Centros de Salud de Costa Rica al año 2017. La Unión, Cartago, Laboratorio Nacional de Aguas; 2018: pag 1-17.
- [19] Darner A. Mora. Situación actual del agua de consumo humano y las aguas residuales en Costa Rica 1994. San José, Revista Biocensos; Vol 7. N°2, junio 1991: pag 74-81.
- [20] Darner A. Mora; Carlos F. Portuguez. Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Costa Rica al 2016: metas al 2022 y 2030. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2017: Pag 1-19.
- [21] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados; Ministerio de Salud Pública; Ministerio de Ambiente y Energía. Política Nacional para el Subsector de Agua Potable de Costa Rica; 2017-2030. AyA/MS/MINAE; San José, Costa Rica, AyA; 2017.
- [22] Darner A. Mora; Carlos F. Portuguez. Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable: 2017-2030. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2017: Pag 1-105.
- [23] Laboratorio Nacional de Aguas. Índice de Calidad y Continuidad de los Servicios de Agua Potable en Costa Rica. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2018: pag 79.
- [24] Poder Ejecutivo. Creación del Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica. Decreto Ejecutivo N°2727 del 14 de abril de 1961.
- [25] Darner A. Mora; Héctor Feoli. Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable: 2007-2015. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2007: Pag 1-56.

# Análisis de la calidad bacteriológica de dos playas tropicales: relación de indicadores de contaminación fecal entre el agua de mar y las arenas

## Analysis of microbiological quality of two tropical beaches: relationship of fecal contamination indicators between seawater and sands

Andrei Badilla-Aguilar<sup>1</sup>, Darner A. Mora-Alvarado<sup>2</sup>

Badilla-Aguilar, A; Mora-Alvarado, D. Análisis de la calidad bacteriológica de dos playas tropicales: relación de indicadores de contaminación fecal entre el agua de mar y las arenas. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 37-45.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4879>



- 1 Laboratorio Nacional de Aguas, Unidad de Investigación en Agua, Ambiente y Salud. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: abadilla@aya.go.cr.
- 2 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.

## Palabras clave

Coliformes fecales; *Escherichia coli*; *Enterococcus* spp.; correlación; reservorio; contaminación fecal.

## Resumen

Las poblaciones microbianas en las arenas de playas, pueden estar asociadas a riesgos para la salud de los bañistas. El objetivo de este trabajo fue describir los niveles de indicadores de contaminación fecal entre las arenas y el agua de mar de dos playas del pacífico de Costa Rica y determinar la relación entre dichas matrices. Se utilizó la técnica de Fermentación en Tubos Múltiples (NMP) para la detección de coliformes fecales, *E. coli* y *Enterococcus* spp. Se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman entre el agua de mar y las arenas de cada playa. Los resultados mostraron niveles más altos de *Enterococcus* spp. en la arena seca, con respecto al agua de mar y la arena húmeda. Se evidenciaron correlaciones positivas de microorganismos indicadores entre las arenas y el agua de mar en Playa Jacó. El análisis de los resultados sugiere que la contaminación de las aguas de mar se ve altamente influenciada por las poblaciones microbianas establecidas en las arenas. Sin embargo, son necesarios más estudios para conocer el comportamiento de las poblaciones microbianas en arenas de playas y su relación con la contaminación del agua de mar.

## Keywords

Fecal coliforms; *Escherichia coli*; *Enterococcus* spp.; correlation, reservoir; fecal contamination.

## Abstract

Microbial populations in beach sands, may be associated with health risks on beachgoers. The aim of this study was to determine the levels of fecal contamination between sand and water of two beaches of the pacific coast of Costa Rica, in addition to determining the relationship between these two matrices. Fecal coliforms, *E. coli* and *Enterococcus* spp. were analyzed by the technique of Multiple Tubes Fermentation (MPN). Higher levels of *Enterococcus* spp. were found in the dry sands than in wet sand and sea waters. Results showed positive correlations of indicator organisms between sand and seawater in Jaco beach. Analysis of the results suggests that contamination of the seawater is highly influenced by the microbial populations in the sands. However, more data and studies are needed to understand the behavior of microbial populations in beach sands and its relation to the pollution of seawater.

## Introducción

Los mares poseen una dinámica que condiciona y dirige los desechos de los cuerpos de agua hacia las costas, lo que hace a las playas lugares muy vulnerables a ser degradados e inutilizados como espacio vital de recreación [1]. La contaminación llega a las playas a través de fuentes de contaminación puntuales (desembocaduras, por ejemplo) o fuentes de contaminación no puntuales (escorrentía, por ejemplo) o difusas [2].

Por lo tanto, las aguas de mar son muy susceptibles a la contaminación biológica de tipo fecal, la cual puede incrementar el riesgo a la salud asociado a actividades de contacto primario, como el baño recreativo o la natación [3]. Se estima que más de 120 millones de casos de afecciones gastrointestinales y más de 50 millones de personas con enfermedades respiratorias son causadas por nadar o bañarse en aguas costeras contaminadas con aguas residuales contaminadas [4].



Existe basta evidencia científica que indica que las arenas de las playas cumplen un papel de reservorio natural de bacterias de origen fecal y bacterias patógenas [5, 6]. Se sugiere que la exposición directa a las arenas, en actividades como cavar o enterrarse en la arena, puede ser un factor de riesgo en el contagio de enfermedades infecciosas, particularmente en niños y personas inmunosuprimidas [7, 8].

Los coliformes fecales, que incluyen a *Escherichia coli*, y el género *Enterococcus spp.*, son grupos de bacterias indicadoras de contaminación fecal, las cuales se utilizan en gran medida para estimar el riesgo a la salud derivado de entrar en contacto con aguas [2]. Han sido utilizadas tradicionalmente por sus similitudes metabólicas con respecto a bacterias patógenas para los humanos, tanto en aguas para consumo humano como en aguas recreativas [9].

La comunidad de Jacó, en el cantón de Garabito, se caracteriza por un desordenado y alto desarrollo turístico y urbanístico, el cual ha repercutido en alcanzar altos niveles de indicadores de contaminación fecal en sus playas. El problema se ha acrecentado debido a la descarga desregulada de aguas negras en los cuerpos de agua cercanos a la playa [10]. El objetivo de este trabajo fue describir los niveles de contaminación en una playa con fuentes puntuales de contaminación (Playa Jacó) y una playa sin fuentes puntuales de contaminación (Playa Blanca). Además, además se evaluó la relación entre la contaminación con coliformes fecales del agua de mar y las arenas en dichas playas.

## Materiales y métodos

### Descripción de los sitios de estudio

Se eligieron dos playas del pacífico costarricense ubicadas a 70 km de San José (Costa Rica): Playa Jacó y Playa Blanca (Punta Leona). Playa Jacó se ubica en una comunidad que posee una alta densidad de negocios relacionados al turismo, y que cuenta con un ineficiente tratamiento de las aguas residuales debido a la falta de un alcantarillado sanitario. Además, recibe las aguas de 3 ríos que desembocan en el mar. Por el contrario, Playa Blanca (Punta Leona) no posee la influencia de ninguna desembocadura de manera constante, además se encuentra en un complejo turístico privado con una densidad poblacional significativamente menor en comparación con Jacó.

### Muestreo

Se establecieron cuatro puntos de muestreo de agua de mar distribuidos a lo largo de Playa Jacó: JAC1 (9°35'53.3"N y 84°37'16.9"W), JAC2 (9°36'18.0"N y 84°37'28.5"W), JAC3 (9°36'37.25"N y 84°37'37.58"W) y JAC4 (9°37'6.73"N y 84°38'11.86"W). En Playa Blanca, se establecieron tres puntos de muestreo a lo largo de Playa Blanca (Punta Leona): PB1 (9°42'06.0"N y 84°40'05.9"W), PB2 (9°42'10.3"N y 84°40'04.5"W) y PB3 (9°42'17.1"N y 84°40'04.9"W). Los muestreos se realizaron con frecuencia bisemanal, durante 15 semanas comprendidas entre febrero y junio del 2016.

Las muestras de agua de mar se recolectaron siguiendo la metodología descrita en la edición 23 del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [11]. Seguidamente, se colocaron en hielo y se trasladaron al laboratorio en condiciones de oscuridad a una temperatura entre 1 y 4 °C para su posterior análisis. Las muestras se procesaron en un tiempo menor a 8 h.

Se siguió el procedimiento reportado por Pinto y colaboradores [12] para la recolección de muestras de arenas de playa con una modificación en la cantidad de arena muestreada, la cual fue de 100 g. La arena seca se recolectó en áreas no inundadas, cerca de la línea de marea alta, aproximadamente 25 m tierra adentro. Las muestras de arena húmeda se recolectaron en una zona intermedia entre la arena seca y el agua de mar. Las muestras se colocaron en hielo

y se trasladaron en condiciones de oscuridad, a una temperatura entre 1-4 °C y se procesaron en un tiempo menor a 8 h.

### Análisis microbiológicos

Para el caso del agua de mar, el análisis de coliformes fecales, *E. coli* y enterococos fecales se realizó por medio de la técnica de Número Más Probable (NMP) con series de 5 tubos y siguiendo las instrucciones descritas en la edición 23 del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [11].

El análisis de arenas se llevó a cabo de la siguiente manera: 10 g de arena se agitaron en 90 mL de agua destilada estéril por 2 min. Seguidamente, se procedió a sedimentar la mezcla por 1 min. El NMP de coliformes fecales, *Escherichia coli* y enterococos fecales se calculó utilizando el sobrenadante de la mezcla, por medio de la técnica de Número Más Probable (NMP) con series de 5 tubos y siguiendo las instrucciones descritas en la edición 23 del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [11].

### Análisis estadístico

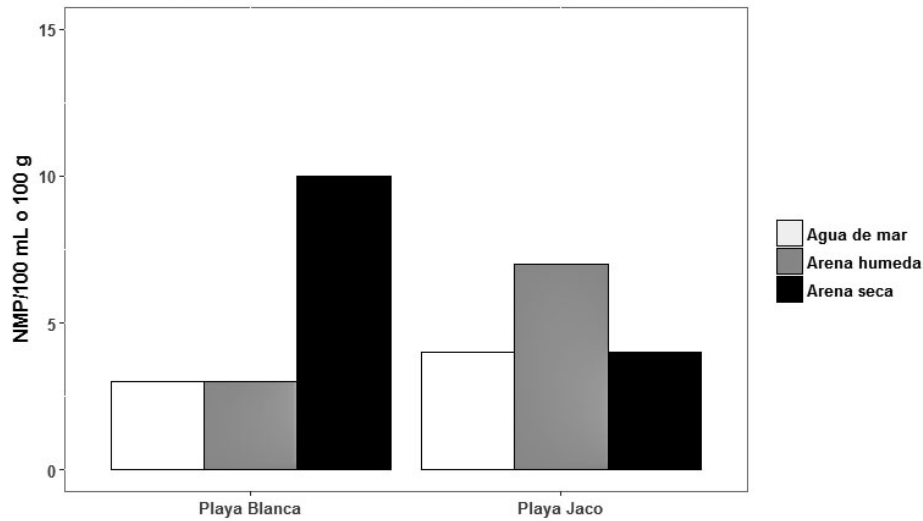
Las concentraciones de microorganismos (NMP) obtenidas en las determinaciones realizadas con las arenas fueron estandarizadas a 100 g para hacer posible una evaluación de la relación entre las muestras de arena y las muestras de agua de mar. Para lo anterior, se asumió una densidad específica para el agua de 1 g/mL. Las concentraciones de microorganismos se transformaron a una escala de log<sub>10</sub>.

Se analizó la normalidad los datos obtenidos en las determinaciones de coliformes fecales, *E. coli* y enterococos fecales en el agua de mar, arena húmeda y arena seca de Playa Blanca (n=90) y Playa Jacó (n=120), por medio de la prueba estadística de Anderson-Darling. Se determinaron los coeficientes de correlación de Spearman de las concentraciones de coliformes fecales, *E. coli* y enterococos fecales entre el agua de mar, la arena húmeda y la arena seca. Todas las pruebas se realizaron utilizando un nivel de confianza del 95% ( $\alpha=0,05$ ). Los análisis se realizaron mediante el software estadístico R [13].

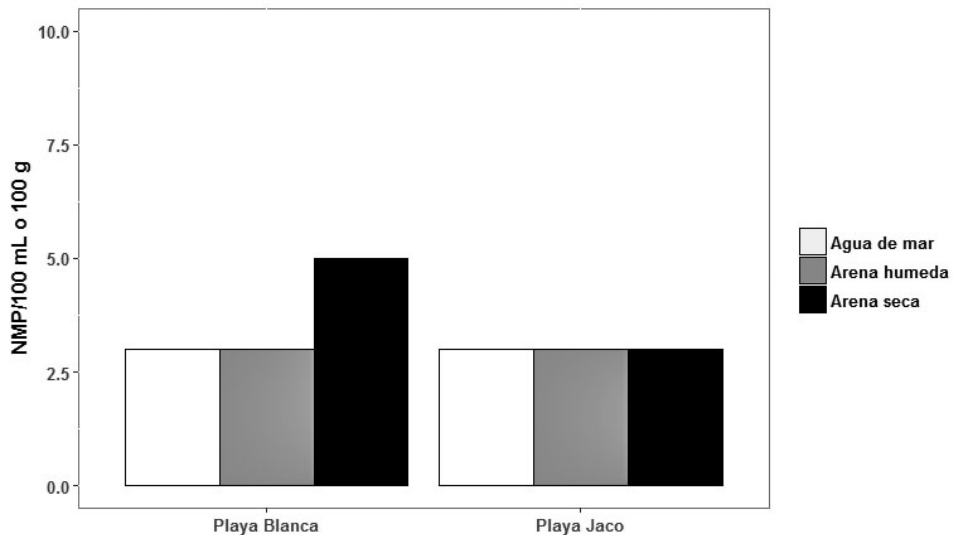
## Resultados y discusión

La investigación se llevó a cabo entre febrero y junio del 2016, se realizaron 30 muestreos en el agua de mar, la arena húmeda y la arena seca de Playa Blanca y Playa Jacó, con el fin de analizar las concentraciones de coliformes fecales, *E. coli* y enterococos fecales.

De manera general, en la figura 1 se puede observar que los niveles de contaminación por coliformes fecales en la arena seca de Playa Blanca, fueron mayores a los encontrados en la arena húmeda y el agua de mar aledaña. En la arena seca, se alcanzaron valores máximos de hasta 11010,0 NMP por cada 100 g analizados. Resultados similares se obtuvieron con las concentraciones de *E. coli* para esta playa (ver figura 2). Por otra parte, en Playa Jacó se observó que las concentraciones de coliformes fecales fueron ligeramente más altas en la arena húmeda que en las otras matrices analizadas (ver figura 1). Los valores de *E. coli* se mantuvieron en niveles muy bajos en ambas playas. Sin embargo, en Playa Blanca se observó una concentración mayor en la arena seca (figura 2). En dicha matriz, se detectaron valores de *E. coli* de hasta 11010,0 NMP/100 g.



**Figura 1.** Promedios geométricos de los niveles de coliformes fecales en el agua de mar, la arena húmeda y la arena seca en dos playas del pacífico costarricense



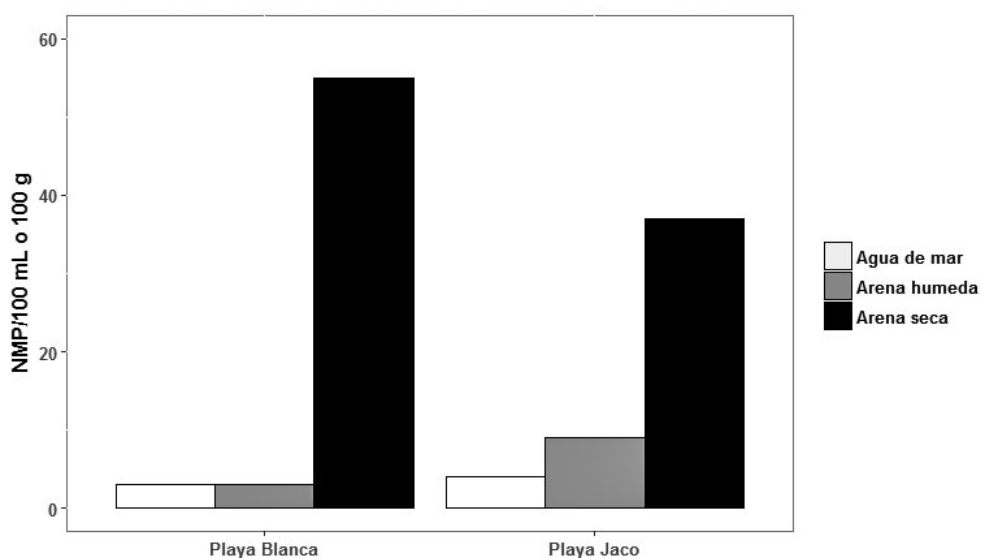
**Figura 2.** Promedios geométricos de los niveles de *E. coli* en el agua de mar, la arena húmeda y la arena seca en dos playas del pacífico costarricense.

Los resultados anteriores concuerdan con lo expuesto por Skórczewski y colaboradores [14], quienes encontraron concentraciones más altas de coliformes fecales en las arenas secas, en comparación con el agua de mar y las arenas húmedas, con valores máximos de hasta 2883 UFC/100 m<sup>3</sup>. Phillips y colaboradores [15] indican que las zonas húmedas de las playas están expuestas a la fuerza de las mareas, las cuales pueden remover los reservorios de las arenas donde se albergan los microorganismos. Además, en los ambientes más húmedos, aumentan las probabilidades de sobrevivencia de organismos como los protozoarios, los cuales tienen la capacidad de depredar bacterias, y por consiguiente disminuir las concentraciones en las arenas húmedas [16].

Sin embargo, en Playa Jacó no se observó que las concentraciones de coliformes fecales y *E. coli* fueran mayores en la arena seca, las concentraciones más altas se obtuvieron en las arenas húmedas. Whitman y colaboradores [6] explican que las arenas húmedas son propensas a variaciones en sus niveles de humedad por factores como la localización de la playa, el tamaño de partícula y la profundidad de la capa freática. Por lo que se deduce que estos factores pudieron influir en el momento del muestreo y por ende en las concentraciones determinadas.

Cabe destacar que se obtuvieron resultados de contaminación más elevados en el agua de mar de Playa Jacó que en el agua de mar de Playa Blanca. Lo anterior se puede ver explicado por el hecho de que Playa Jacó posee la influencia continua de fuentes puntuales de contaminación, las principales son los ríos: Copey, Naranjal y Madrigal.

Por otro lado, las concentraciones de enterococos fecales determinadas en ambas playas se resumen en la siguiente figura:



**Figura 3.** Promedios geométricos de los niveles de enterococos fecales en el agua de mar, la arena húmeda y la arena seca en dos playas del pacífico costarricense.

En ambas playas, se determinaron concentraciones más elevadas de enterococos fecales en las arenas secas, en comparación con las demás matrices (ver figura 3). Se obtuvieron valores de hasta 11010,0 NMP/100 g tanto en Playa Blanca como en Playa Jacó. Diversos autores [17, 5, 18] han reportado resultados concordantes con lo encontrado en esta investigación, donde las concentraciones más altas de bacterias del género *Enterococcus spp.* se encontraron en la arena seca de las playas. Ha sido ampliamente reportado que los *Enterococcus spp.* son más tolerantes al estrés ambiental que los coliformes fecales y que *E. coli*, ya que se caracterizan por ser más resistentes a factores como: temperatura, radiación solar, pH y salinidad [19, 18, 16].

### Análisis de correlación

Se llevaron a cabo análisis de coeficiente de Spearman con el fin de determinar una posible relación entre los niveles de contaminación por indicadores fecales presentes en el agua de mar y en las arenas de las playas. Los resultados de dichos análisis se muestran en los cuadros 1 y 2.

**Cuadro 2.** Resumen de los análisis de correlaciones entre los niveles de contaminación del agua de mar y las arenas de Playa Jacó, Puntarenas, Costa Rica.

Indicador fecal	Correlación	Rho	Valor p
Coliformes fecales	Agua de mar con arena húmeda	0,250	0,017*
	Agua de mar con arena seca	0,486	0,000*
<i>Escherichia coli</i>	Agua de mar con arena húmeda	0,123	0,249
	Agua de mar con arena seca	0,351	0,001*
Enterococos fecales	Agua de mar con arena húmeda	0,108	0,309
	Agua de mar con arena seca	0,410	0,000*

Microorganismo	Correlación	Rho	Valor p
Coliformes fecales	Agua de mar con arena húmeda	0,409	0,000*
	Agua de mar con arena seca	0,341	0,000*
<i>Escherichia coli</i>	Agua de mar con arena húmeda	0,442	0,000*
	Agua de mar con arena seca	0,246	0,007*
Enterococos fecales	Agua de mar con arena húmeda	0,344	0,000*
	Agua de mar con arena seca	0,300	0,001*

En el caso de Playa Blanca (ver cuadro 1), se determinaron correlaciones positivas y significativas entre las concentraciones de coliformes fecales encontradas en el agua de mar y la arena húmeda de Playa Blanca. Además, se encontraron correlaciones positivas y significativas, entre el agua de mar y la arena seca, con todos los microorganismos analizados. Por otro lado, en Playa Jacó (ver cuadro 2) se observaron correlaciones positivas y significativas entre el agua de mar y la arena húmeda y seca, con los grupos de microorganismos que se evaluaron.

Resultados similares fueron obtenidos por Phillips y colaboradores [15] en playas del sur de la Florida (USA), donde encontraron correlaciones positivas en los niveles de *Enterococcus spp.* entre el agua de mar y las arenas aledañas. Esta relación puede ser explicada por el hecho de que la contaminación de tipo fecal proviene de reservorios de microorganismos que establecen poblaciones en las arenas, las cuales son arrastradas al mar por los fenómenos de mareas. Whitman y colaboradores [6] señalan que, en la mayoría de los casos, la fuente principal de los microorganismos en aguas de mar son los reservorios que se encuentran en las arenas. Por lo tanto, el presente estudio representa uno de los primeros reportes que indican una posible relación directa entre la contaminación del agua de mar y las arenas aledañas en playas tropicales.

El hecho de que no se hayan obtenido correlaciones fuertes en las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal entre la arena seca y el agua de mar de Playa Jacó, se puede explicar desde un punto de vista geográfico. Ya que los puntos de

muestreo de la arena seca en pocas ocasiones se traslapaban con la línea máxima de marea, por lo que las arenas secas, la mayoría de las ocasiones no tenían indicios de haber estado bajo el agua en algún momento. Este hecho es importante ya que por medio de los resultados de la prueba de correlación (ver cuadro 2), se evidenció presuntivamente que el arrastre de microorganismos hacia el mar, y viceversa, se daba en mayor grado en la arena húmeda. Sin embargo, son necesarios más estudios para poder comprobar dicha teoría.

Un fenómeno contrario se observó en Playa Blanca, ya que la zona entre la línea máxima de marea baja y el final de la playa poseía una distancia muy corta. Por lo que en mareas altas (especialmente nocturnas), la línea máxima de marea llegaba hasta el final de la trasplaya, cubriendo así en su totalidad la arena seca, lo que presuntivamente conllevó a un arrastre de microorganismos hacia el agua.

Todos los resultados encontrados en este estudio concuerdan con la evidencia científica que indica que las arenas de playas pueden ser un reservorio importante para bacterias de origen fecal, e incluso para bacterias y hongos patógenos para el ser humano [5, 6, 18, 19, 20]. Sin embargo, no se puede asegurar con certeza que las bacterias encontradas en las arenas provengan de heces o material fecal directamente, debido a que se ha encontrado que estas son capaces de sobrevivir en el medio ambiente y establecer poblaciones viables [21].

## Conclusiones y recomendaciones

Se determinó que las arenas de playas tropicales sin fuentes puntuales de contaminación pueden albergar altas concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal.

Se recomienda evaluar diferentes metodologías para la estandarización de una técnica de extracción de microorganismos en las arenas de playa.

También es recomendable documentar la mayor cantidad de datos sobre factores ambientales en las playas a estudiar; temperatura del viento, humedad ambiental, temperatura del agua de mar, humedad de las arenas, temperatura de las arenas, fenómenos de mareas, precipitaciones, entre otros.

Es de gran interés para la salud pública, realizar pruebas de detección de patógenos humanos y pruebas con microorganismos indicadores complementarios en las arenas y las aguas de mar, tales como: colifagos, *Bacteroides*, bacterias patógenas y virus entéricos.

## Referencias

- [1] R. Sabino, R. Rodrigues, I. Costa, C. Carneiro, M. Cunha, A. Duarte, N. Faria, F. C. Ferreira, M. J. Gargaté, C. Julio, M. L. Martins, M. B. Nevers, M. Oleastro, H. Solo-Gabriele, C. Verissimo, C. Viegas, R. L. Whitman y J. Brandão, «Routine screening of harmful microorganisms in beach sands: Implications to public health,» *Science of the Total Environment*, n° 472, pp. 1062-1069, 2014.
- [2] J. M. Fleisher, L. E. Fleming, H. M. Solo-Gabriele, J. K. Kish, C. D. Sinigalliano, L. Plano, S. M. Elmir, J. D. Wang, K. Withum, T. Shibata, M. L. Gidley, A. Abdelzaher, G. He, C. Ortega, X. Zhu, M. Wright, J. Hollenbeck y L. C. Backer, «The BEACHES Study: health effects and exposures from non-point source microbial contaminants in subtropical recreational marine waters,» *Internal Journal of Epidemiology*, vol. 39, n° 5, pp. 1291-1298, 2010.
- [3] A. B. Boehm, N. J. Ashbolt, J. M. Colford, L. E. Dunbar, L. E. Fleming, M. A. Gold, J. A. Hansel, P. R. Hunter, A. M. Ichida, C. J. McGee, J. A. Soller y S. B. Weisberg, «A sea change ahead for recreational water quality criteria,» *Journal of Water and Health*, vol. 7, n° 1, pp. 9-20, 2009.
- [4] H. Shuval, «Estimating the global burden of thalassogenic diseases: human infectious diseases caused by wastewater pollution of the marine environment,» *Journal of Water and Health*, vol. 1, n° 2, pp. 53-64, 2003.

- [5] A. H. Shah, A. M. Abdelzaher, M. Phillips, R. Hernandez, H. M. Solo-Gabriele, J. Kish y J. Lukasik, «Indicator microbes correlate with pathogenic bacteria, yeasts and helminthes in sand at a subtropical recreational beach site.,» *Journal of applied microbiology*, vol. 110, n° 6, pp. 1571-1583, 2011.
- [6] R. L. Whitman, V. J. Harwood, T. A. Edge, M. B. Nevers, M. Byappanahalli, K. Vijayavel y H. M. Solo-Gabriele, «Microbes in beach sands: integrating environment, ecology and public health,» *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 13, n° 3, pp. 329-368, 2014.
- [7] C. D. Heaney, E. Sams, S. Wing, S. Marshall, K. Brenner, A. P. Dufous y T. J. Wade, «Contact with beach and sand among beachgoers and risk of illness,» *American journal of epidemiology*, vol. 179, n° 2, pp. 164-172, 2009.
- [8] H. M. Solo-Gabriele, V. J. Harwood, D. Kay, R. S. Fujioka, M. J. Sadowsky, R. L. Whitman y T. A. Edge, «Beach sand and the potential for infectious disease transmission: observations and recommendations,» *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 96, n° 1, pp. 101-120, 2015.
- [9] C. D. Heany, E. Sams, A. Dufour, K. P. Brenner, R. A. Haugland, E. Chern, S. Wing, S. Marshall, D. C. Love, M. Serre, R. Noble y T. J. Wade, «Fecal indicators in sand, sand contact, and risk of enteric illness among beachgoers,» *Epidemiology*, vol. 23, n° 1, pp. 95-106, 2012.
- [10] D. A. Mora, «Calidad sanitaria de las aguas de Playa Jacó: Costa Rica 1986-2008,» *Revista costarricense de salud pública*, vol. 18, n° 1, pp. 5-9, 2009.
- [11] APHA-AWWA-WEF, Standard methods for the examination of water and wastewater, 23 ed., Washington DC, USA: American Public Health Association, 2017.
- [12] K. C. Pinto, E. M. Hachich, M. I. Sato, M. Di Bari, M. C. Coleho, M. H. Matte, C. C. Lamparelli y M. T. Razzolini, «Microbiological quality assessment of sand and water from three selected beaches of South Coast, Sao Paulo State, Brazil,» *Water Sceince & Technology*, vol. 66, n° 11, pp. 2475-2482, 2012.
- [13] R Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*, Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017.
- [14] P. Skórczewski, Z. Mudryk, J. Gackowska y P. Perlinski, «Abundance and distribution of fecal indicator bacteria in recreational beach sand in the southern Baltic Sea,» *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, vol. 47, n° 3, pp. 503-512, 2012.
- [15] M. C. Phillips, H. M. Solo-Gabriele, A. M. Piggot, J. S. Klaus y Y. Zhang, «Relationships between sand and water quality at recreational beaches,» *Water research*, vol. 45, n° 20, pp. 6763-6769, 2011.
- [16] M. N. Byappanahalli, M. B. Nevers, A. Korajkic, Z. R. Staley y V. J. Harwood, «Enterococci in the environment,» *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, vol. 76, n° 4, pp. 685-706, 2012.
- [17] R. C. Ghinsberg, D. L. Bar, M. Rogol, Y. Sheinberg y Y. Nitzan, «Monitoring of selecteria bacteria and fungi in sand and sea water along the Tel Aviv coast,» *Microbios*, vol. 77, n° 310, pp. 29-40, 1993.
- [18] E. Pereira, C. Figueira, N. Aguiar, R. Vasconcelos, S. Vasconcelos, G. Calado, J. Brandão y S. Prada, «Microbiological and mycological beach sand quality in a volcanic environment: Madeira achipelago, Portugal,» *Science of the Total Environment*, n° 461, pp. 469-479, 2013.
- [19] E. Halliday y R. J. Gast, «Bacteria in beach sands: an emerging challenge in protecting coastal water quality and bather health,» *Environmental science & technology*, vol. 45, n° 2, pp. 370-379, 2010.
- [20] R. T. Noble, I. M. Lee y K. C. Shiff, «Inactivation of indicator micro-organisms from various sources of faecal contamination in seawater and freshwater.,» *Journal of applied microbiology*, vol. 96, n° 3, pp. 464-472, 2004.
- [21] K. L. Anderson, J. E. Whitlock y V. J. Harwood, «Persistence and differential survival of fecal indicator bacteria in subtropical waters and sediments.,» *Applied and environmental microbiology*, vol. 71, n° 6, pp. 3041-3048, 2005.

# Disposición de excretas en Costa Rica: de los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

## Excreta disposal in Costa Rica: from the Millennial Development Goals to the Sustainable Development Goals

Darner A. Mora -Alvarado<sup>1</sup>, Carlos Felipe Portuguez-Barquero<sup>2</sup>

---

Mora-Alvarado, D; Portuguez-Barquero, C. Disposición de excretas en Costa Rica: de los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 46-56.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4880>

1 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.

2 Gestor Ambiental. Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: fportuguez@aya.go.cr.





## Palabras clave

Higiene; saneamiento; tanques sépticos; fuentes de saneamiento administrados de forma segura.

## Resumen

La transición de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) provocó cambios en conceptos clave sobre saneamiento. En este trabajo, se estudió la sustitución de Instalaciones de saneamiento mejoradas por servicios de saneamiento administrados de manera segura. Se analizaron los tanques sépticos utilizando dos escenarios con base en lo establecido por los ODS. Se realizó una comparación entre Costa Rica y el mundo dentro del contexto de saneamiento. La evaluación de los objetivos de eliminación de excretas y saneamiento hasta 2030 para Costa Rica, se realizó utilizando datos de la OMS y del Laboratorio Nacional del Agua (LNA). Los resultados mostraron que, en el escenario donde los tanques sépticos se consideran Servicios de saneamiento administrados de manera segura, el país alcanza 87,6% de población cubierta. Mientras que cuando no se consideran como Servicios de saneamiento administrados de forma segura, se alcanza un 13% de cobertura. Costa Rica se ubica en el quinto puesto en cobertura de higiene básica entre 13 países de Latinoamérica. Es necesario un seguimiento estricto de las políticas públicas relacionadas con el saneamiento con el fin mejorar los indicadores del país en el contexto de los ODS.

## Keywords

Hygiene; sanitation; septic tanks; Safely managed sanitation services.

## Abstract

The transition from the Millennium Development Goals (DMG) to the Sustainable Development Goals (SDG) caused changes in key concepts about sanitation. In this work, the replacement of the Improved Sanitation Facilities by the Safely managed sanitation services was studied. Septic tanks were analyzed using two scenarios according to the SDG. A comparison between Costa Rica and the world within the context of sanitation was made. Evaluation of excreta disposal and sanitation goals to 2030 for Costa Rica, were evaluated using data from the WHO and the National Water Laboratory (LNA). Results showed that, in the scenario where septic tanks are considered Safely Managed sanitation services, the country reaches 87,6% of the population covered. While when they are not considered as Safely managed sanitation services, a 13% coverage is achieved. Costa Rica reach the fifth position in coverage of basic hygiene between 13 countries of Latin-American. A strict monitoring of public policies related to sanitation is necessary in order to improve the country's indicators in the context of the SDGs.

## Introducción

En el Objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) se propuso la meta de *“Reducir a la mitad para el 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible a agua potable y a servicios básicos de saneamiento.”* [1]. Con la intención de medir los avances alcanzados por cada país en estos temas, la OMS y la UNICEF crearon el Programa Conjunto de Monitoreo (PCM) [2]. EL PCM oficializó conceptos e indicadores de saneamiento para el monitoreo de las metas propuestas.

Los conceptos de Instalaciones de saneamiento mejoradas e Instalaciones de saneamiento no mejoradas, incluyen mecanismos de medición como: disposición de excretas mediante alcantarillado con planta de tratamiento; el uso de alcantarillado sin tratamiento; uso de tanque sépticos; y el uso de letrinas sépticas [3].

Los datos de línea base de 189 países se establecieron con las coberturas del año 1990. Mientras que los avances alcanzados se oficializaron en el Informe titulado 25 Progresos en materia de Saneamiento y Agua Potable 2015 [4]; este mismo documento indica que, a nivel global, los países pasaron de 54% de cobertura con Instalaciones de saneamiento mejoradas en 1990 a 68% en el 2015.

Con la publicación de los Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS), y específicamente en el Objetivo 6 (Agua Limpia y Saneamiento), se sustituyó el concepto de Instalaciones de saneamiento mejoradas por Servicios de saneamiento gestionados de forma segura, definidos como *“Instalaciones privadas mejoradas donde los desechos fecales se depositan en un sitio de manera segura o se transportan y se tratan fuera del lugar, además de un lavado (lavatorio) de manos con agua y jabón”* [5][6][7].

En Costa Rica el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) inició desde 1991 la preparación de informes anuales de cobertura y calidad del agua y saneamiento en Costa Rica [8][9][10]. Basándose en la premisa de que el acceso a agua potable, la adecuada disposición de excretas y la higiene en general, tienen una influencia directa sobre la prevención de enfermedades [11][12][13] y fundamentados en el cambio de los ODM a los ODS se presenta este estudio, con el objetivo de abordar la variación de conceptos y datos de saneamiento, tomando como línea base los datos obtenidos en el periodo 2015, además de la formulación de metas país para el año 2030.

## Metodología

Para efectos del presente artículo, se consideró necesario establecer dos escenarios para valorar los avances de Costa Rica en la disposición adecuada de excretas:

Escenario 1. En los Servicios de saneamientos gestionados de manera segura se tomaron en cuenta solamente las instalaciones privadas mejoradas, donde los desechos fecales se depositan en un sitio de manera segura o se transportan y se tratan fuera de lugar (que no incluye los tanques sépticos), además de un lavado de manos con agua y jabón.

Escenario 2. Se consideró el uso de tanque séptico más alcantarillado y otros tipos de tratamiento, además del lavado de manos con agua y jabón dentro de los Servicios de saneamientos gestionados de forma segura.

### Coberturas con Instalaciones de saneamiento mejoradas en Costa Rica: 1990-2015

Con datos aportados por la OMS/UNICEF,” se establecieron las Escaleras de Saneamiento para los años 1990 y 2015, basados en la evaluación realizada a los ODM por parte del PCM.

#### Evaluación de disposición de excretas

La evaluación de la disposición de excretas se llevó a cabo tanto a nivel nacional como internacional. El avance de cobertura de saneamiento a nivel nacional se estimó mediante los informes anuales del LNA de 1991 [14], 2015 [15] y la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) [16] del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

Los datos de los avances en la cobertura con Instalaciones de saneamiento mejoradas, usadas para la disposición de excretas en Costa Rica, se compararon a nivel de Latinoamérica, el Caribe y el resto del mundo, mediante el informe de OMS/UNICEF 25 Progresos en Materia de Saneamiento y Agua Potable, actualización al 2015 y evaluación de los ODM.

## Aplicación de Escaleras de Saneamiento

Utilizando los datos obtenidos en los informes antes mencionados, se aplicó la Escalera de Saneamiento de 1990 y 2015, esto dentro del marco de los ODM. Mientras que, utilizando el informe de Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Costa Rica al Año 2017 en Viviendas y Más Allá del Hogar [17], se definió la Escalera de Saneamiento en el mercado de los ODS.

## Proyectos de inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales en Costa Rica

Con fundamento en el Plan Nacional de Inversión en Saneamiento 2016-2045 [18], dentro del marco de la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales [19], se identificaron los proyectos de inversión a realizar por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) en el periodo 2016 al 2045 en Costa Rica.

## Metas propuestas para saneamiento al 2030

Los datos línea base del informe Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Costa Rica al 2015. Metas al 2022 y 2030” [20], fueron utilizados para proponer una meta en saneamiento al año 2030.

## Situación de saneamiento e higiene en Costa Rica y América Latina

Utilizando el documento “Progresos en Materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene 2017”, se obtuvieron los resultados porcentuales de cobertura, aportados por OMS/JMP/UNICEF, y se elaboró la Escalera de la Higiene para Costa Rica. Además, se realizó la comparación con algunos países de América Latina.

## Resultados

### Coberturas de saneamiento en aguas residuales de Costa Rica 1990-2015 en el contexto latinoamericano y el mundo

En el cuadro 1 se presentan los datos de cobertura de disposición de excretas en Costa Rica, Latinoamérica y a nivel mundial.

**Cuadro 1.** Uso de Instalaciones de saneamiento mejoradas. Porcentaje de cobertura en Costa Rica, Latinoamérica y el mundo 1990-2015

Región	Período (tiempo)	Mejoradas	Compartidas	Otras no mejoradas	Disposición a cielo abierto
Costa Rica	1990	88	4	6	2
	2015	95	4	1	0
Latinoamérica	1990	67	5	11	17
	2015	83	7	7	3
Mundo	1990	54	5	17	24
	2015	68	9	10	13

### Datos de saneamiento a nivel nacional

Con los datos del documento sobre la “Situación Actual de Agua de Consumo Humano y Aguas Residuales en Costa Rica 1991”, con datos reales de 1990, y de la ENAHO a julio del 2015, se resumen, en el cuadro 2, los resultados de disposición de excretas en Costa Rica para ambos periodos.

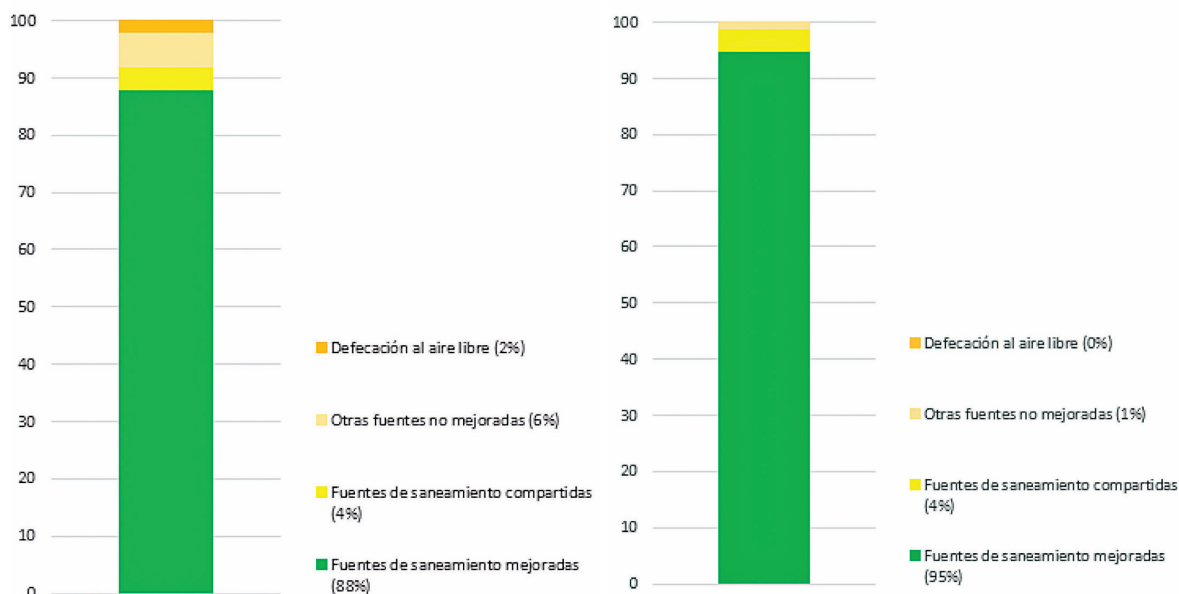
**Cuadro 2.** Datos de disposición de excretas en Costa Rica en los años 1990 y 2015.

Tipo de disposición	1990	2015
Alcantarillado	20,5%	21,1%
Tanques sépticos	73,5%	76,9%
Letrinas	3,0%	1,6%
Defecación a cielo abierto	3,0%	0,4%
Total	100%	100%

Fuente: LNA

### Aplicación de las “Escaleras de Saneamiento” según conceptos de los ODM en Costa Rica: 1990-2015

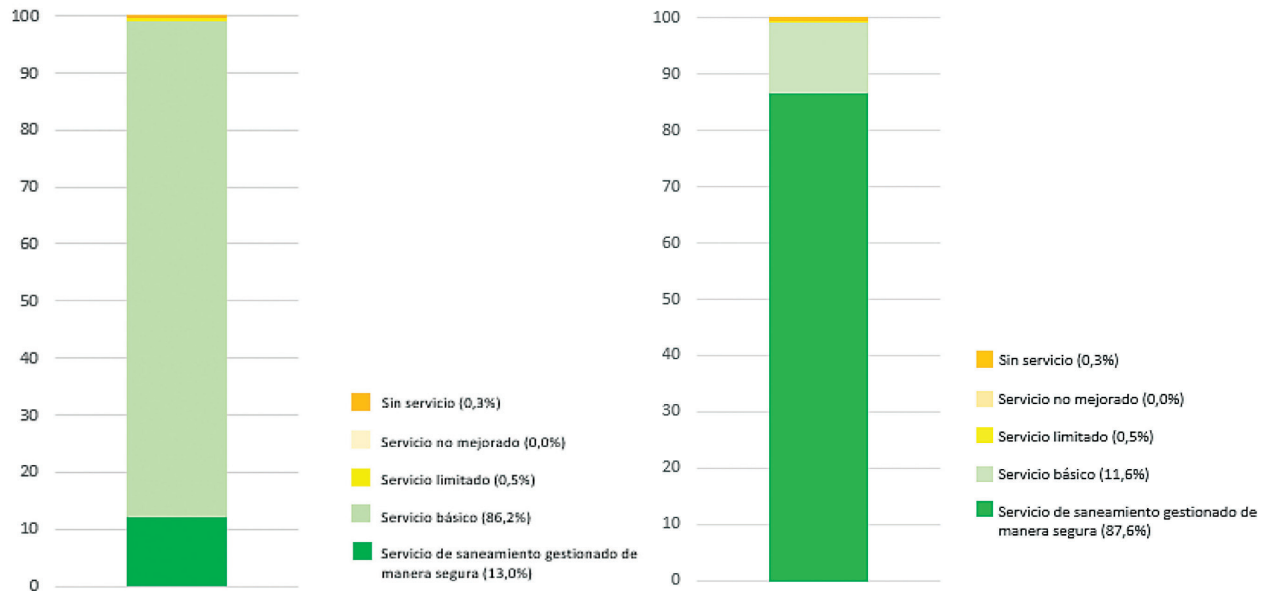
En la figura 1, se presentan las Escaleras de Saneamiento o disposición de excretas para los años 1990 y 2015, según los ODM; con la comparación de ambas figuras se observa el avance de Costa Rica en este tema, pasando de una cobertura nacional de 88% a 95% con Instalaciones de saneamiento mejoradas entre ambos periodos.



**Figura 1.** Escaleras de saneamiento según los ODM en 1990 (izq.) y 2015 (der.). Fuente: LNA

### Escalera de los Servicios de saneamiento gestionados de forma segura, de acuerdo con los escenarios 1 y 2.

En la figura 2, se presentan las Escaleras de los Servicios de Saneamiento gestionados en forma segura en Costa Rica para el año 2017.



**Figura 2.** Escaleras de Saneamiento en Costa Rica según ODS para el año 2017 contemplando dos escenarios; Escenario 1 (izq) y Escenario 2 (der.). Fuente: LNA

### Identificación de los proyectos de inversión en alcantarillado en Costa Rica: 2016-2045

De acuerdo con el AyA, los proyectos institucionales de inversión en alcantarillado para Costa Rica, entre los años 2010 y 2045, son los mostrados en el cuadro 3.

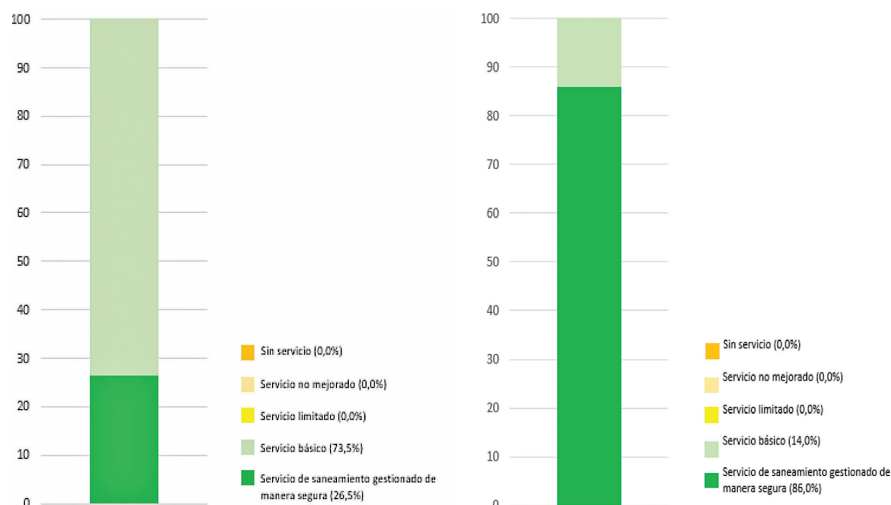
**Cuadro 3.** Beneficios de los Proyectos Utilizados para el Cálculo de los Costos Unitarios

Proyecto-Ciudad	Conexiones	Proyección
Palmares	2.693	Año 10
Jacó	2.877	Año 10
Nicoya	6.272	Año 12
Quepos	6.096	Año 12
Golfito	2.374	Año 12
Sardinal-El Coco	5.880	Año 10
Área Metropolitana Redes Sur	7.028	Dato único
Área Metropolitana Redes Norte	11.594	Dato único

Fuente: Estudios de los proyectos y ofertas adjudicadas, AyA.

### Metas al 2030 en Servicios de saneamiento gestionados de forma segura

En la figura 3, se proyectan las metas al 2030, en cuanto al Servicio de saneamiento gestionado de forma segura, utilizando tanto el escenario 1 como el escenario 2 propuestos anteriormente.



**Figura 3.** Escaleras de Saneamiento según los ODS en Costa Rica: proyección al año 2030 para el escenario 1 (izq.) y el escenario 2 (der.). Fuente: LNA.

### Situación de la higiene en América Latina y Escalera de la higiene en Costa Rica

El cuadro 4 muestra los resultados porcentuales de cobertura obtenidos por 13 países de Latinoamérica y El Caribe en lo referente a la higiene, del año 2015, contemplada en el nuevo concepto de “Servicio de saneamiento gestionado de forma segura”, según datos de OMS/JMP/UNICEF.

**Cuadro 4.** Datos Porcentuales sobre Clasificación de la Higiene en América Latina y El Caribe 2015.

País	Básico	Limitado	Sin instalación
Belice	87	8	5
Costa Rica	84	10	6
Cuba	85	10	5
Ecuador	85	14	1
El Salvador	90	7	3
Guatemala	77	21	3
Guyana	77	11	12
Haití	26	42	32
Honduras	84	10	6
Jamaica	66	16	17
México	88	9	3
República Dominicana	55	16	29
Santa Lucía	87	8	5

Fuente: OMS/JMP/UNICEF

## **Análisis de resultados**

### **Evolución de los conceptos en saneamiento**

Con el cambio del ODM 7 al ODS 6, el PCM evolucionó del concepto de Instalaciones de saneamiento mejoradas al de Servicio de saneamiento gestionado de forma segura; este cambio radica, principalmente, en la inclusión del tratamiento de las aguas residuales al concepto de la variable. En el periodo de transición del 2015 al 2017, las diferentes naciones del mundo han tenido que establecer los datos línea base en cuanto al Servicio de saneamiento gestionado de forma segura; por esta razón, aún en el informe de Progresos en Materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene del 2017, se presentan datos de saneamiento básico utilizando el concepto de Instalaciones de saneamiento mejoradas en lugar de la cobertura con Servicio de saneamiento gestionado de forma segura.

### **Datos comparativos entre OMS/UNICEF de Instalaciones de saneamiento mejoradas en Costa Rica, Latinoamérica y el mundo**

Los datos de OMS/UNICEF en Instalaciones de saneamiento mejoradas, indican que Costa Rica pasó de 88% a 95% de cobertura entre 1990 y el 2015. A su vez, el dato en Latinoamérica, en el mismo periodo, pasó de un 67% a 83% y a nivel mundial el avance fue de 54% a 68%. De acuerdo con estudios del LNA, el avance a nivel nacional fue de 97% en 1990 a 99,6% en el 2015; no obstante, el nuevo concepto de Servicio de saneamiento gestionado de forma segura demuestra que los datos no han sido tan satisfactorios, como se observa en el desarrollo del presente estudio.

### **Escalera del Servicio de saneamiento gestionado de forma segura en Costa Rica al 2017 de acuerdo con los escenarios 1 y 2**

En el escenario 1, o estricto, el “Servicio de saneamiento gestionado de forma segura” alcanzó el 13% en el 2017, debido a que este dato no considera el 74,6% de cobertura de población que usaba el tanque séptico como medio de disposición de excretas; esto se debe a que los lodos de los mismos no se tratan en plantas de tratamiento. Con el escenario 2, el 74,6% de cobertura con tanque séptico se suma al 13% de cobertura de alcantarillado con tratamiento, dando como resultado un 87,6% de población cubierta con “Servicio de saneamiento gestionado de forma segura”.

### **Proyectos de inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales en Costa Rica**

A través del Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento 2016-2045, el AyA tiene planificado invertir recursos económicos en ocho nuevos proyectos de saneamiento, con la intención de recolectar y tratar las aguas residuales de diferentes sectores del país; los mismos estarán localizados en Palmares, Jacó, Nicoya, Quepos, Golfito, Sardinal-El Coco y el Área Metropolitana Etapas 1, 2 y las las Redes Norte y Sur. Estos nuevos proyectos abarcarán más de 45.000 conexiones, que beneficiarían a aproximadamente 969.615 personas de zonas urbanas y rurales, considerando un factor vivienda de 3,1 personas por conexión. Estos proyectos de inversión responden a la “Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales” (PNSAR) para el periodo 2017-2045, propuesta por el Ministerio del Ambiente y Energía, el Ministerio de Salud y el AyA en el año 2016.

### **Metas del Servicio de Saneamiento Gestionado de Manera Segura al 2030**

La Meta del ODS 6 indica que los países deben reducir en un 50% la cantidad de aguas residuales sin tratamiento para el año 2030, tomando como línea base los datos del 2015. Datos del LNA indican que en el 2015 Costa Rica contaba con 9,22% de población cubierta

con aguas residuales tratadas, lo que permite concluir que el 90,78% de las aguas residuales no reciben tratamiento; este resultado se divide entre dos para obtener el 50%, dando como resultado 45,39%, que sumado al 9,22% ya existente al 2015 nos da un valor meta de 54,6% para el 2030.

Al igual que en el año 2017, se establecieron dos escenarios para estimar las metas de Costa Rica con Servicios de saneamiento gestionados de forma segura para el año 2030, según los ODS. En el caso del escenario 1, y bajo el supuesto de que los lodos generados por los tanques sépticos seguirán sin tratarse en plantas de tratamiento, por lo que estos últimos no calificarían para ser considerados como Servicios de saneamiento gestionados de forma segura, la cobertura alcanzará el 26,5%, obtenido de sumar el 9,22% de población cubierta con Servicios de saneamiento gestionados de forma segura existente en el año 2015, más el 17,43% de cobertura obtenida a través de los proyectos de inversión. Esta posibilidad sería una realidad siempre y cuando el país cumpla con la ejecución de los proyectos propuestos en el “Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento 2017-2045”.

Como se aprecia bajo este escenario, Costa Rica no lograría cumplir con la meta de 54,6% de cobertura con Servicios de saneamiento gestionados de forma segura. En este escenario, se manifiesta la necesidad de tratar la totalidad de los lodos de los tanques sépticos a través de plantas de tratamiento regionales.

En el escenario 2, la cobertura con tanque séptico es considerada parte de un tratamiento de aguas residuales *In situ*. Al dato de cobertura con tanque séptico de 76,9%, de la línea base 2015, se le reduce el 17,43% por la sustitución de los tanques sépticos con los nuevos proyectos de inversión del Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento 2017-2045, para contar con una cobertura de 59,47% con tanque séptico en el año 2030; este resultado, sumado al 26,5% de población cubierta con Servicios de saneamiento gestionados de forma segura, permitiría alcanzar una cobertura total de 86,0% a ese periodo, con lo cual el país estaría cumpliendo con la meta ODS.

### Escalera de la higiene aplicada en Costa Rica

Los datos de OMS/JMP/UNICEF sobre higiene, indican que un 84% de la población de Costa Rica tiene “Disponibilidad de una instalación de lavado de manos en la vivienda con jabón y agua” definida como Básico, 10% se clasifica como “Limitado” porque cuenta con “Disponibilidad de una instalación de lavado de manos en la vivienda sin jabón y agua”, y 6% se clasifica como “Sin instalación”, debido a que “No existe instalación de lavado de manos en la vivienda”.

### Conclusiones

El cambio del concepto de Instalaciones de saneamiento mejoradas (ODM) a Saneamiento gestionado de forma segura (ODS), genera diferencias en los datos reportados durante la transición entre ambas iniciativas, con variaciones que podrían resultar muy significativas, como puede apreciarse al comparar los dos escenarios presentados para el año 2017 y las metas esperadas para el 2030.

La transición de los ODM a los ODS genera una falta de claridad a la hora de definir los conceptos incluidos en la Escalera de Saneamiento, especialmente al momento de clasificar la cobertura de saneamiento por tanques sépticos.

El hecho de no considerar los tanques sépticos como Estaciones de saneamiento mejoradas, imposibilita que Costa Rica cumpla con la meta país según los ODS, ya que no alcanzaría un 50% de saneamiento.



Cuando se consideran los tanques sépticos como Estaciones de saneamiento mejoradas, se cumple la meta país de cobertura de saneamiento según los indicadores de los ODS (54,6%).

Considerando la situación planteada en este artículo, la información anual reportada será insuficiente para poder dar respuesta completa a los indicadores de los ODS.

Costa Rica, en conjunto con Honduras, ocupan el quinto lugar en cobertura con servicio “Básico” de higiene entre 13 países latinoamericanos evaluados, por debajo de El Salvador (90%), México (88%), Belice y Santa Lucía (87%), además de Cuba y Ecuador (85%).

La Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) que se realiza en Costa Rica, no consulta sobre la presencia, dentro o fuera del servicio sanitario, de dispositivos para el lavado de manos con agua y jabón, como lo contemplan los ODS.

## Recomendaciones

El cumplimiento del Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento 2016-2045 por parte de AyA, representa un primer pero insuficiente paso para cumplir con las metas planteadas en el marco de los ODS.

La Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales debe buscar mayor inversión a nivel de país, la cual durante muchos años se ha visto postergada con los consecuentes impactos ambientales, políticos, sociales y económicos que hoy día presenta nuestro país en esta materia.

Se debe aclarar, por parte de la OMS/UNICEF, si el tratamiento de los lodos de los tanques sépticos y el alcantarillado sanitario, están contemplados en el concepto Servicio de saneamiento gestionado de forma segura, con la intención de saber con cual escenario reportar en la clasificación de la Escalera de Saneamiento y el cumplimiento de las metas de los ODS.

El INEC deberá realizar los ajustes necesarios en la Encuesta Nacional de Hogares, para poder obtener la información necesaria que permita dar una respuesta real a los indicadores solicitados, tanto en agua para consumo como en saneamiento e higiene.

## Referencias

- [1] Barboza, Karol; Ortega, Warren. *Objetivos de Desarrollo del Milenio. III Informe de País 2015*. San José, Costa Rica. MIDEPLAN; 2015; pag 1-99.
- [2] Organización Mundial de la Salud. *Seguimiento y Datos Empíricos Sobre Agua y Saneamiento*. OMS. Ginebra, Suiza; Documento en línea en: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/es/)
- [3] Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. *Definición de Indicadores*. OMS/UNICEF. Documento en línea en: [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/evalamitad2.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/evalamitad2.pdf)
- [4] Organización Mundial de la Salud, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia y Programa Conjunto de Monitoreo. *25 Progresos en Materia de Saneamiento y Agua Potable. Informe de Actualización 2015 y Evaluación de ODM/UNICEF* OMS/UNICEF/PCM. Ginebra, Suiza; 2015:sp.
- [5] Organización de las Naciones Unidas. *Asamblea General de las Naciones Unidas*. OMS/UNICEF. Documento en línea en: [www.un.org/es/ga/about/](http://www.un.org/es/ga/about/)
- [6] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Objetivo 6. Agua Limpia y Saneamiento*. PNUD-Costa Rica. Documento en línea en: [www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html](http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html)
- [7] Organización Mundial de la Salud, JMP y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. *Progresos en Materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene 2017*. OMS/JMP/UNICEF; Nueva York. EUA; 2018: PAG 1-39.
- [8] Mora, Darner; Portuguez, Carlos. *Situación de Cobertura y Calidad del Agua para Consumo Humano y Disposición de Excretas a Finales del 2001*. Laboratorio Nacional de Aguas, Tres Ríos, La Unión, Cartago; 2002: sp.
- [9] Mora, Darner; Portuguez, Carlos. *Estado del Agua para Consumo Humano y Saneamiento al Año 2007*. Laboratorio Nacional de Aguas, Tres Ríos, La Unión, Cartago. LNA; 2008: pag 1-27.

- [10] Mora, Darner; Mata, Ana; Portuguez, Carlos. *Acceso a Agua para Consumo Humano y Saneamiento: Evolución en el Periodo 1990-2010 en Costa Rica* Laboratorio Nacional de Aguas, Tres Ríos, La Unión, Cartago; 2011: pag 1-25.
- [11] Heller, Leo. *Saneamiento y Salud*. Brasilia, Brasil. OPS/OMS/CEPIS; 1997: pp 1-83.
- [12] Mora, Darner. *Saneamiento, Educación y Salud*. San José, Costa Rica. Editorama; 2005: 1-122.
- [13] Organización Mundial de la Salud y Organización Panamericana de la Salud. *La Salud y el Ambiente en el Desarrollo Sostenible*. OMS/OPS; Washington D.C.; Publicación científica N°572; 2000; sp.
- [14] Mora, Darner. *Situación Actual del Agua de Consumo Humano y las Aguas Residuales en Costa Rica 1991*. San José, Costa Rica. Revista Biocenosis. Vol.2 enero-junio; 1991: pag 74-81.
- [15] Mora, Darner; Mata, Ana; Portuguez, Carlos. *Agua para Consumo Humano y Saneamiento y su Relación con los Indicadores Básicos de Salud en Costa Rica. Objetivos de Desarrollo del Milenio y la Agenda para el 2030*. Laboratorio Nacional de Aguas, Tres Ríos, La Unión, Cartago; 2018: pag 1-28.
- [16] Instituto Nacional de Estadística y Censos. *Encuesta Nacional de Hogares 2017*. INEC, San José, Costa Rica; Cuadros 5, 6 y 7.
- [17] Mora, Darner; Portuguez, Carlos. *Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Costa Rica al Año 2017 en Viviendas y Más Allá del Hogar*. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2018: pag 1-28.
- [18] Astorga, Yamileth y colaboradores. *Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento 2016-2045*. AyA, BCIE, BID, KFW; San José, Costa Rica; 2017: pag 1-26.
- [19] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales: 2016-2045*. AyA. San José, Costa Rica; 2016: pag 1-99.
- [20] Mora, Darner; Portuguez, Carlos. *Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Costa Rica. Metas al 2022 y 2030*. Laboratorio Nacional de Aguas; Tres Ríos, La Unión, Cartago; 2016.

# Monumento Nacional Guayabo: Calidad del Agua del Acueducto Precolombino

## Guayabo National Monument: Pre- Columbian Aqueduct Water Quality

Yuliana Solís-Castro<sup>1</sup>, Darner A. Mora-Alvarado<sup>2</sup>,  
Ileana Garbanzo-Acosta<sup>3</sup>

---

Solís-Castro, Y; Mora-Alvarado, D; Garbanzo-Acosta, I. Mo-  
numento Nacional Guayabo: Calidad del Agua del Acueducto  
Precolombino. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol  
32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 57-71.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4881>



- 1 Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: ysolis@aya.go.cr.
- 2 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.
- 3 Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: igarbanzo@aya.go.cr.

## Palabras clave

Características fisicoquímicas y microbiológicas; naciente; muestreo.

## Resumen

El presente estudio pionero, descriptivo-analítico, tiene como objetivo general realizar un acercamiento en el tiempo, para analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas en el agua de las diferentes etapas del acueducto precolombino, desde las fuentes, tanques y el desfogue, y su comparación con la calidad de las aguas de los acueductos que abastecen actualmente a la comunidad de Guayabo de Turrialba. La metodología, se enfocó en una inspección para identificar las etapas del sistema, luego se realizaron tres muestreos en seis puntos diferentes del acueducto y se efectuaron los respectivos análisis de laboratorio incluyendo: parámetros de campo, aniones, cationes, metales pesados y plaguicidas. Es difícil comprobar si los indígenas consumían agua con exactamente las mismas características fisicoquímicas detectadas, sin embargo, existe la posibilidad de que se asemejaran bastante. Los resultados indican que el agua del acueducto precolombino es de buena calidad y que posiblemente el deterioro de la estructura y la inadecuada captación que presentan las nacientes, provocó algunos valores altos en las concentraciones de aluminio y hierro. No obstante, la comparación con los acueductos de la ASADA de la comunidad colonial, demuestra que las aguas son del mismo acuífero y el agua es de calidad potable. Por último, se determinó que en el agua del acueducto precolombino no existe contaminación antropogénica y que el canal subterráneo del agua entre los dos tanques continúa trabajando adecuadamente, impidiendo infiltración de contaminantes. Se recomienda al Estado costarricense preservar el acueducto precolombino del Monumento Nacional Guayabo.

## Keywords

Physicochemical and microbiological properties; spring water; sampling.

## Abstract

The present study main goal is to analyze the physicochemical and microbiological water parameters throughout the different stages of the pre-columbian aqueduct, and therefore, compare the results with those of the water supply systems operated by the local ASADA. The methodology consisted of identifying the aqueduct stages, water sampling at six different points within the aqueduct, and analysing the laboratory tests including field parameters, anions, cations, heavy metals and pesticides. It is unknown whether the pre-columbian aqueduct supplied water to ancient natives with the same quality as today; however, there is a great chance the physicochemical characteristics remain alike. The results indicate the pre-columbian aqueduct carries good water quality, and the detected high concentrations of iron and aluminum are most likely due to decline in infrastructure and inappropriate source collection. According to the analysis, the water comes from the same aquifer in both the pre-columbian aqueduct and the local water supply systems, and it is considered potable. Finally, no anthropogenic pollution within the pre-columbian aqueduct water was found, and the aqueduct still works properly preventing entry of pollutants into the system. The study highlights the importance of preserving the pre-columbian aqueduct of the Guayabo National Monument by the Costa Rican government.

## Introducción

Geográficamente la población precolombina, se divide en dos grupos: mesoamericano y sudamericano. En ambas zonas las culturas precolombinas construyeron grandes obras hidráulicas para el desarrollo agrícola y para contrarrestar las posibles sequías. Ejemplos hay muchos, como el caso de algunos cultivos en Perú con la cultura Pukara donde se construyeron tanques de almacenamiento y canales [1] o la cultura Nazca que construyó un sistema de acueductos subterráneos para abastecer la población. En Chile y en Perú, se encuentra evidencias de vestigios de pozos, mientras que en México en el sistema hidráulico de Edzná, se ubican colectores de agua, los cuales funcionan para evitar inundaciones [2]. Actualmente en Perú existen varios acueductos en funcionamiento elaborados por los Incas, entre ellos el acueducto de Machu Picchu, el de Ollantaytambo y Tipón el cual consta de avanzados sistemas de riego, fuentes para consumo humano y baños [3] (ver figura 1).



**Figura 1.** Acueducto Inca en Tipón, Perú.

En Costa Rica, a lo largo de unos 120 años, se iniciaron los estudios del sitio arqueológico Guayabo de Turrialba. Estas investigaciones, tanto nacionales como internacionales fueron aportados, en primera instancia por el hacendado de Cartago Jose Ramón Rojas Troyo y Hellmuth Polakowsky, naturalista alemán y miembro de la Sociedad Mexicana Geográfica de estadística [4]. Estos dos personajes fueron los que realizaron la intervención pionera en el “Cementerio Guayabo”, entre 1847 y 1917. Durante la primera mitad del siglo XX, ningún investigador se interesó en Guayabo, sobre todo, debido a que el dueño del sitio, Juan Gómez Alvarez, no permitió que el sitio fuera intervenido. Sin embargo, a partir de 1968, Carlos H. Aguilar, inició el proceso de varios estudios arqueológicos de la zona. Luego, otros especialistas continuaron con estos trabajos, principalmente mediante el trabajo comunal universitario de investigación social, de 1978 a 1988. Después de este periodo, se iniciaron las labores de restauración y conservación. Entre los rasgos arquitectónicos descubiertos se han encontrado 43 montículos, tres acueductos, dos plazas, dos calzadas y un encierro; todas las estructuras comunicadas entre sí por calzadas menores, puentes y gradas [5]. Las obras hidráulicas se agrupan en dos sistemas principales: el de abastecimiento de agua potable y drenajes para agua de lluvias en el cual las calzadas empedradas y la forma circular de los cimientos son

parte importante de este sistema. A la luz de estos descubrimientos en Guayabo, se promovió la creación del Monumento Nacional Guayabo (MNG), con el propósito de proteger y conservar uno de los recursos arqueológicos más importantes del país.

En razón de estos hallazgos y, aunque se han utilizado análisis fisicoquímicos como trazadores para evaluar el flujo de las aguas por parte de investigadores universitarios [6], ningún estudio ha analizado la calidad del agua de las fuentes de agua ni las diferentes etapas del acueducto, se presenta esta investigación pionera con el objetivo general de realizar un acercamiento en el tiempo, de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las diferentes etapas del acueducto, desde las fuentes de agua hasta los tanques y el desfogue y, su respectiva comparación con la calidad de las aguas del acueducto vecino actual que abastece a la comunidad “colonial” de Guayabo.

## Metodología

Para cumplir con el objetivo de este estudio descriptivo-analítico, de analizar la calidad de las aguas del acueducto del MNG y la comparación con el acueducto actual de la comunidad colonial de Guayabo, se aplicaron los siguientes pasos:

1. Análisis histórico del MNG: mediante el estudio de la literatura nacional e internacional, se abordaron diferentes estudios como el Plan General de Manejo del Monumento Nacional Guayabo del 2008, Geo-arqueología del Monumento Nacional Guayabo del 2011, Monumento Arqueológico Nacional Guayabo de Turrialba su historia, sus investigaciones, su manejo del 2012, Análisis de las Estructuras Hidráulicas del Monumento Nacional Guayabo del 2014, entre otros.
2. Definición de los puntos de muestreo: la definición de los puntos de muestreo para la época seca, lluviosa y transición se efectuó mediante una inspección de las diferentes etapas del acueducto, en compañía del arqueólogo Rodolfo Tenorio, administrador del MNG.
3. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos: los análisis y el muestreo, se efectuaron siguiendo los criterios del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [7], además, los parámetros determinados se encuentran acreditados ante la norma INTE-ISO-IEC 17025:2005.
4. Evaluación de la calidad del agua: para la evaluación de la calidad del agua de las nacientes se utilizó los criterios de calidad de aguas de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica [8]. Por otro lado, la calidad del agua suministrada por la ASADA se evaluó con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica [9].
5. Comparación de la calidad del agua del acueducto precolombino del MNG y el acueducto actual que abastece a la comunidad de Guayabo: efectuando muestreos e inspección en ambos acueductos permitió compararlos y sacar las respectivas conclusiones sobre la calidad del agua.

## Análisis de resultados

En concordancia con el orden establecido en la metodología, a continuación, se presentan los resultados obtenidos.

### Análisis histórico del MNG: recurso natural y arqueológico

El Monumento Nacional Guayabo se encuentra ubicado a 19 kilómetros noroeste del cantón de Turrialba en la provincia de Cartago. Rodeado de paisaje rural, al sur del Monumento predominan las actividades agrícolas como el cultivo de café, mientras que al norte y al oeste

se realiza principalmente la ganadería. El clima de la región se caracteriza por no presentar una estación seca bien definida, en febrero y marzo la precipitación es más baja mientras que de junio a enero se presenta la mayor cantidad de lluvia [5].

Se ha asentado sobre depósitos volcánicos procedentes del Volcán Turrialba. Estos materiales volcánicos son lavas ricas en potasio, silicatos de magnesio y hierro y lahares, estos últimos tienden a ser impermeables o a filtrar el agua lentamente, lo cual dependiendo de la intensidad de lluvias puede provocar escorrentías superficiales o erosión en el sitio [10].

Es un área rica en generación de recurso hídrico y recarga acuífera. Es atravesado de noroeste a sureste por los ríos Guayabo y Lajitas. Además, dentro del monumento nacen las quebradas Yas y Rojas, las cuales son utilizadas para la producción agropecuaria [5]. Conjuntamente, el MNG protege fuentes de agua utilizadas para consumo humano que abastecen los acueductos de la ASADA de la Colonia de Guayabo.

Según las investigaciones hechas en el área, las estructuras arqueológicas estuvieron habitadas desde el año 1000 antes de Cristo, hasta 1400 después de Cristo, pero su mayor desarrollo se alcanzó cerca de los 800 años después de Cristo, época en que se construyeron las estructuras arqueológicas conservadas y protegidas más importantes de Costa Rica [11]. Tanto es así, que esta área arqueológica comprende de 15 a 20 hectáreas de elevado desarrollo y fue reconocido en el 2009 como Patrimonio Mundial de la ingeniería por la asociación americana de ingenieros civiles, ASCE (por sus siglas en inglés), esto debido a la complejidad en la ingeniería del mencionado acueducto, entre otros aspectos [12] [13].

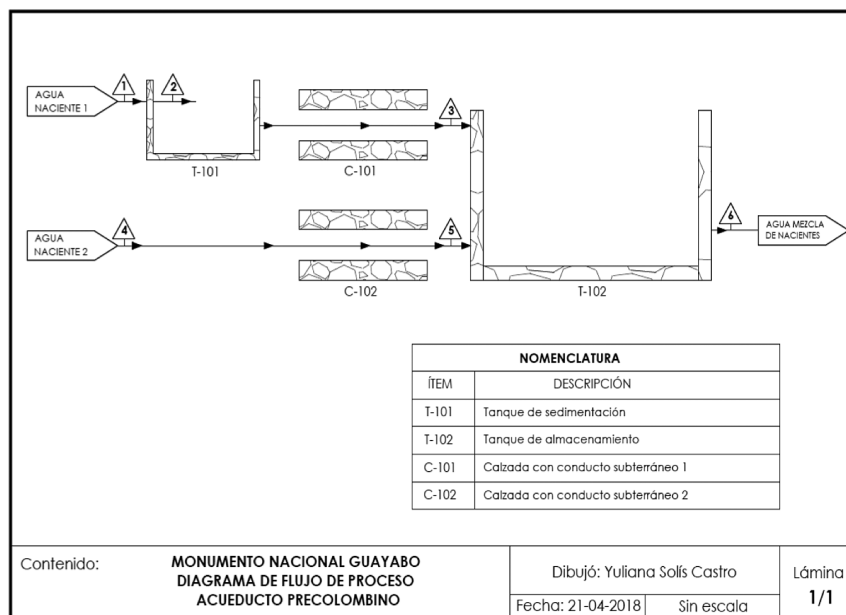
En el MNG se ha encontrado petrograbados que tienen relación con las obras hidráulicas, pues se representan relieves, mapas, puntos de importancia en los asentamientos o el movimiento de las aguas, por ejemplo, se ha encontrado petrograbados con formas de espirales, los cuales, son el símbolo del agua [14].

### **Definición de los puntos de muestreo**

El 2 de marzo del año 2017 se efectuó la inspección del acueducto precolombino en la cual se constató que gran parte de estas obras hidráulicas aún se encuentran funcionando. En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo de proceso del acueducto y numerados dentro de triángulos, del 1 al 6, los puntos de muestreo que se definieron. Además, para entender mejor las estructuras del acueducto se presenta una breve descripción de las mismas.

#### *Nacientes*

El acueducto precolombino está compuesto por dos nacientes. El agua de la naciente 1 es dirigida superficialmente por un desagüe hasta el tanque de sedimentación (T-101), no se observó alguna captación alrededor del afloramiento de la naciente. El agua de la naciente 2 se dirige superficialmente hasta un canal subterráneo (C-102). En esta naciente si fue posible observar piedras alrededor de ella, como si trataran de protegerla. En el cuadro 1, se muestra la georreferenciación de las nacientes.



**Figura 2.** Diagrama de flujo de proceso del acueducto precolombino.

**Cuadro 1.** Nacientes del acueducto precolombino.

Estructura	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)
Naciente 1	E 533811	N 1102775	1097
Naciente 2	E 533862	N 1102844	1099

### *Tanque de sedimentación (T-101)*

El tanque de sedimentación está hecho con rocas de diferentes dimensiones, posee una entrada de agua proveniente de la naciente 1 y una salida de agua hasta el canal subterráneo (C-101). Se presume que este tanque sirvió para disminuir la velocidad del flujo del agua, la cual viene montaña arriba y además para reducir la cantidad de sedimentos que transporta el agua [6]. En la figura 3 se muestra una imagen del tanque y en el cuadro 2 se presenta las dimensiones del mismo.

### *Canales subterráneos de conexión (C-101 y C-102)*

El acueducto está compuesto por dos canales subterráneos. El primero conecta el tanque de sedimentación (T-101) con el tanque de almacenamiento (T-102) y el segundo conecta la naciente 2 con el tanque de almacenamiento (T-102). El fondo del canal, las paredes y la parte superior de los canales están construidos con rocas de diferentes tamaños que calzan perfectamente unas con otras, esto con el fin de impermeabilizarlos, para así evitar la contaminación del agua. Estos canales a la vez funcionaban como calzadas en la parte superior. En la figura 4 se muestra una calzada, la cual cubre el canal subterráneo C-101. En el cuadro 3 se presentan las dimensiones del canal subterráneo C-101. No se encontró las dimensiones exactas del canal C-102, pero poseen longitudes similares.





**Figura 3.** Tanque de sedimentación.

**Cuadro 2.** Dimensiones del tanque de sedimentación [6].

Díámetro promedio (m)	Profundidad promedio (m)
4,3	0,2



**Figura 4.** Calzada sobre el canal subterráneo C-101.

**Cuadro 3.** Dimensiones del canal subterráneo c-101 [6].

Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
33,9	0,40	0,35

*Tanque de almacenamiento (T-102)*

El tanque de almacenamiento recibe agua de los dos canales subterráneos, posee un tiempo de retención bastante alto ya que sus dimensiones son considerables (ver cuadro 4), el agua sobrante desagua por otro canal subterráneo hasta la quebrada Lajitas. Al igual que el tanque de sedimentación, el tanque de almacenamiento está construido con rocas planas en el piso y las paredes (ver figura 5).

Según Rodolfo Tenorio, se cree que este tanque lo utilizaban nuestros antepasados para obtener agua para consumo (beber o cocinar), alrededor del tanque es posible observar metates de piedra circulares incrustados en la misma calzada, en los cuales posiblemente trituraban y preparaban los alimentos. También es posible diferenciar que el tanque posee tres paredes rectas y una pared escalonada hacia abajo a manera de gradas, la función de las mismas era facilitar el acceso de los pobladores al agua almacenada.



**Figura 5.** Tanque de almacenamiento T-102.

**Cuadro 4.** Dimensiones del tanque de almacenamiento T-102 [6].

Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
9,3	3,5	0,91

**Resultados fisicoquímicos y microbiológicos**

En total se realizaron tres muestreos fisicoquímicos incluyendo: parámetros de campo, aniones, cationes, metales pesados y plaguicidas, así como tres muestreos microbiológicos para la determinación de coliformes fecales y E.coli. Tal como se mencionó anteriormente, la zona se caracteriza por no presentar una estación seca bien definida, generalmente los meses en que hay menos precipitaciones son febrero y marzo. Es por esto que los muestreos fisicoquímicos y microbiológicos se efectuaron el 2 de marzo del 2017 para representar la época seca, el 21 de junio 2017 para representar la época lluviosa y el 23 de enero del 2018 para representar la época de transición.

Resultados de análisis del MNG

**Cuadro 5.** Resultados de análisis para la naciente 1 y naciente 2 del acueducto precolombino.

Parámetro	Naciente 1			Naciente 2		
	AYA- ID-01912-17	AYA- ID-05951-17	AYA- ID-00301-18	AYA- ID-01913-17	AYA- ID-05952-17	AYA- ID-00302-18
	09/03/2017	21/06/2017	23/01/2018	09/03/2017	21/06/2017	23/01/2018
Alcalinidad (mg/L)	81	59	66	55	57	56
Aluminio (µg/L)	861,3	5,4	121,7	1222,4	274,2	74,4
Amonio (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Antimonio (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Arsénico (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Calcio (mg/L)	20,1	12,2	14,9	10,9	11,2	10,7
Color Aparente (UPt-Co)	7	D.	D.	7	6	4
Conductividad (µS/ cm)	124	143	114	109	131	113
Cromo (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dureza de Calcio (mg/L)	50	30	37	27	28	27
Dureza Total (mg/L)	74	53	57	48	49	46
Fluoruros (mg/L)	N.D.	N.D.	0,15	N.D.	N.D.	0,15
Fosfatos (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hierro (µg/L)	154,0	N.D.	52,0	668,9	481,7	52,0
Magnesio (mg/L)	5,7	5,5	4,9	4,9	5,1	4,9
Manganeso (µg/L)	16,2	N.D.	3,2	52,9	32,4	3,2
Mercurio (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Níquel (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Nitratos (mg/L)	N.D.	D.	D.	N.D.	N.D.	D.
Nitritos (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Olor	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.
pH	6,98	6,76	6,32	6,84	6,69	6,32
Plomo (µg/L)	N.D.	0,6	D.	N.D.	D.	D.
Potasio (mg/L)	3,1	3,2	3,1	2,4	2,6	3,1
Sodio (mg/L)	6,5	6,4	5,6	6,3	5,5	5,6

Continúa...

Continuación						
Parámetro	Naciente 1			Naciente 2		
	AYA- ID-01912-17	AYA- ID-05951-17	AYA- ID-00301-18	AYA- ID-01913-17	AYA- ID-05952-17	AYA- ID-00302-18
	09/03/2017	21/06/2017	23/01/2018	09/03/2017	21/06/2017	23/01/2018
Sulfatos (mg/L)	3,76	3,87	3,62	3,25	3,19	3,62
Temperatura (°C)	18,9	19,5	19,2	20,0	19,8	19,2
Turbiedad (UNT)	2,86	1,45	0,48	1,19	2,91	0,48
Zinc (µg/L)	10,9	5,1	13,4	16,5	3,2	13,4
Col. fecales (UFC/100 mL)	1,0	Negativo	Negativo	Negativo	7,5	19,7
E.coli (UFC/100 mL)	1,0	Negativo	Negativo	Negativo	5,2	15,8

**Cuadro 6.** Calidad del agua en los seis puntos de muestreo del acueducto precolombino.

Parámetro	Naciente 1 hasta T-102			Naciente 2 hasta T-102		Mezcla de nacientes
	Punto de muestreo (PM)					
	1	2	3	4	5	6
Muestreo 1, 09/03/2017						
Conductividad (µS/cm)	124	122	114	109	109	112
pH	6,98	7,20	7,01	6,84	6,98	6,90
Temperatura (°C)	18,9	19,9	21,1	20,0	20,2	22,1
Turbiedad (UNT)	2,86	1,38	8,45	1,19	4,87	11,7
Col. fecales (UFC/100 mL)	1,0	8,6	6,3	Negativo	2,0	7,5
E.coli (UFC/100 mL)	1,0	7,5	5,2	Negativo	2,0	1,0
Muestreo 2, 21/06/2017						
Conductividad (µS/cm)	143	135	129	131	121	129
pH	6,76	6,90	6,83	6,69	6,86	6,91
Temperatura (°C)	19,5	19,9	19,6	19,8	20,4	19,8
Turbiedad (UNT)	1,45	1,60	2,88	2,91	5,53	3,32
Col. fecales (UFC/100 mL)	Negativo	2,0	2,0	7,5	29,9	11,0
E.coli (UFC/100 mL)	Negativo	1,0	2,0	5,2	16,1	8,6
Muestreo 3, 23/01/2018						
Conductividad (µS/cm)	114	110	109	113	*	106
pH	6,32	6,76	6,92	6,67	*	6,89
Temperatura (°C)	19,2	19,8	21,9	20,6	*	21,1
Turbiedad (UNT)	0,48	2,94	1,53	2,62	*	2,22
Col. fecales (UFC/100 mL)	Negativo	16,1	16,9	19,7	*	17,5
E.coli (UFC/100 mL)	Negativo	13,5	15,5	15,8	*	16,1
* No se muestreó porque el agua se mezclaba directamente con el agua del tanque.						

*Resultados acueductos de la ASADA que abastecen actualmente la Colonia Guayabo*

**Cuadro 7.** Resultados de análisis de los acueductos de Colonia Guayabo.

Parámetro	Acueducto sector centro		Acueducto sector este	
	Mezcla de nacientes 1 y 2	Red	Naciente 3	Red
	AYA-ID- 01653-17	AYA-ID-01654-17	AYA-ID-01655-17	AYA-ID-01656-17
Alcalinidad (mg/L)	66	-	64	-
Aluminio (µg/L)	N.D.	-	D.	-
Amonio (mg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Cadmio (µg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Calcio (mg/L)	12,9	-	12,7	-
Cloro residual libre (mg/L)	-	-	-	0,10
Cloruros (mg/L)	1,47	-	1,54	-
Cobre (µg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Color Aparente (UPt-Co)	D.	-	D.	-
Conductividad (µS/cm)	121	119	114	114
Cromo (µg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Dureza de Calcio (mg/L)	32	-	32	-
Dureza Total (mg/L)	56	-	55	-
Fluoruros (mg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Fosfatos (mg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Hierro (µg/L)	3,0	-	5,3	-
Magnesio (mg/L)	5,8	-	5,7	-
Manganeso (µg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Mercurio (µg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Níquel (µg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Nitratos (mg/L)	D.	-	D.	-
Nitritos (mg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Olor	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
pH	6,95	6,95	6,56	6,80
Plomo (µg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Potasio (mg/L)	3,3	-	2,9	-
Selenio (µg/L)	N.D.	-	N.D.	-
Sodio (mg/L)	6,4	-	6,0	-
Sulfatos (mg/L)	3,79	-	3,39	-
Temperatura (°C)	14,0	16,0	14,7	14,8
Turbiedad (UNT)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Zinc (µg/L)	23,3	-	17,2	-
Col. fecales (UFC/100 mL)	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
E.coli (UFC/100 mL)	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

## Evaluación de la calidad del agua

En el cuadro 6, se mostró la calidad del agua de la naciente 1 hasta la entrada del tanque de almacenamiento T-102. Según los criterios microbiológicos, el agua de la naciente 1 en su sitio de afloramiento es de calidad buena para el muestreo 1 y de calidad excelente para los muestreos 2 y 3. El afloro de la naciente 1 se encuentra a aproximadamente 50 metros del tanque de sedimentación (T-101), el transporte del agua hasta este tanque se efectúa mediante un canal superficial, lo cual puede implicar más contaminación del agua. Esto se ejemplifica del punto de muestreo (PM) 1 al PM 2, en el cual se nota un aumento de la turbiedad de 0,48 unt a 2,94 unt (para el muestreo 3) y en los tres muestreos con un aumento en los coliformes fecales y E.coli, los cuales son indicadores de contaminación fecal y cuya presencia en el agua para consumo representa un alto riesgo para la salud, debido a que se asocian con una mayor probabilidad de encontrar patógenos.

Es por esto, que el proceso de clarificación que efectúa el tanque de sedimentación T-101, previo al tanque de almacenamiento (T-102), fue y es de suma importancia para obtener agua estéticamente más limpia y por lo tanto menos contaminantes. Del PM 2 al PM 3, teóricamente debería disminuir la contaminación; sin embargo, solo en el muestreo 3 es posible observar una pequeña disminución en la turbiedad. En los demás muestreos la conductividad, el ph, la turbiedad, los coliformes fecales y E.coli se mantuvieron prácticamente igual. Actualmente, el acueducto precolombino no se utiliza para consumo, por lo que la limpieza de los tanques no se efectúa con tanta frecuencia; pero se puede sospechar que en ese entonces los habitantes mantenían libre de lodos y limpio el tanque de sedimentación para que trabajara de manera óptima. Del PM 2 al PM 3, si bien no disminuye la contaminación, esta se mantiene constante, lo cual implica que el transporte subterráneo del agua entre los dos tanques continúa trabajando adecuadamente, impidiendo infiltración de contaminantes. En cuanto a la temperatura del agua, como era de esperarse, hubo un pequeño aumento de la misma conforme avanzaba el agua en el acueducto.

En el cuadro 6, se muestra la calidad del agua de la naciente 2 hasta la entrada del tanque de almacenamiento T-102. Según los criterios microbiológicos, el agua de la naciente 2 (PM 4) se clasifica como de calidad excelente para el muestreo 1 y de calidad buena para los muestreos 2 y 3. Del PM 4 al PM 5 el agua viaja aproximadamente 2 metros por un canal superficial y luego ingresa al canal subterráneo (C-102). Es posible que en ese paso por el canal superficial el agua se contamine y es por esto que se puede observar para el primer y segundo muestreo, un aumento en la turbiedad y en la densidad de coliformes fecales y E.coli. La naciente 2 se encuentra más cercana al tanque de almacenamiento, en comparación con la naciente 1. Al muestrear la naciente 2, fue posible observar rocas alrededor del sitio de afloramiento, se puede interpretar que en esa época existía alguna captación para la naciente que imposibilitara la contaminación del agua hasta el canal subterráneo, desmeritando la colocación de un tanque de sedimentación previo, como en el caso de la naciente 1.

Como se mencionó anteriormente, la función del tanque de almacenamiento era abastecer de agua para consumo a los pobladores. Por lo que teóricamente la mezcla de agua que ingresa al tanque sería el agua que consumían. En los tres muestreos efectuados, el tanque de almacenamiento se encontraba con acumulación de lodos y algas, ya que actualmente la limpieza no es frecuente como se pensaría que lo era en esos tiempos. Se podría decir que el muestreo más representativo fue el segundo, ya que los tanques habían sido limpiados un mes antes.

*Parámetros fisicoquímicos en concentraciones elevadas:* no se sabe a ciencia cierta si los indígenas consumían agua con exactamente las mismas características fisicoquímicas detectadas, sin embargo, existe la posibilidad de que se asemejara bastante. A las nacientes se

les realizó análisis completos de los niveles 1, 2 y 3 de acuerdo al Reglamento para la Calidad del Agua Potable [9]. Analizando por completo los resultados fisicoquímicos obtenidos, se obtuvieron concentraciones elevadas de aluminio y hierro mientras que los demás parámetros resultaron con concentraciones aceptables o bajas.

En el cuadro 5 se puede observar la concentración de aluminio en las nacientes para los tres muestreos. Para el primer muestreo, en la naciente 1 el aluminio dio una concentración de 861  $\mu\text{g/L}$  y en la naciente 2 una concentración de 1222,4  $\mu\text{g/L}$ , para el segundo muestreo, la naciente 2 presentó un valor de 274,2  $\mu\text{g/L}$ , estos valores están por encima del valor máximo admisible (VMA) que estipula el reglamento, el cual es 200  $\mu\text{g/L}$ . Sin embargo, los demás resultados cumplen con el reglamento. Estas concentraciones de aluminio tienen mucho sentido, ya que la naciente actualmente no se encuentra bien captada y las concentraciones usualmente varían dependiendo de la estación del año y de la cantidad de lluvias que se presente. Mucho más llueva, más agua aflora en la naciente y por lo tanto más dilución tendrán los contaminantes, en este caso el aluminio. El muestreo 1 se efectuó en marzo, uno de los meses más secos, el muestreo 2 se realizó en junio, uno de los meses más lluviosos. Algunos autores han demostrado que existe relación entre los niveles promedio de aluminio en el agua potable y la incidencia de la enfermedad del Alzheimer [15]. No obstante, la Organización Mundial para la Salud (OMS) indica que existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral y establecen un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 900  $\mu\text{g/L}$  [16].

Los resultados de la concentración de hierro en las nacientes se presentan en el cuadro 5. El VMA que establece el reglamento es de 300  $\mu\text{g/L}$ , por lo que la naciente 1 cumple en los tres muestreos, sin embargo, la naciente 2 incumple en el primer y segundo muestreo, nuevamente esto va a variar dependiendo de las condiciones climatológicas siendo el valor más elevado (668,9  $\mu\text{g/L}$ ) el que se obtuvo en la época seca. El hierro es considerado por la OMS como un parámetro cuya presencia en el agua de consumo puede afectar la aceptabilidad de la misma por parte de los consumidores, pero que no representa un riesgo para la salud a las concentraciones normalmente encontradas en el agua de consumo [16]. Las fuentes subterráneas por lo general contienen Fe (II) (hierro ferroso), que expuesto al oxígeno del aire se oxida a Fe (III) (hierro férrico), otorgándole un color rojizo oscuro al agua y un sabor desagradable para quienes la consuman, usualmente esto ocurre a concentraciones mayores de 300  $\mu\text{g/L}$ .

Generalmente, este tipo de contaminantes como el aluminio o el hierro se logran disminuir con una captación adecuada justo en el sitio de afloramiento, que impida el contacto con la tierra o la materia vegetal. Se ha demostrado el conocimiento tan elevado que tenían los indígenas costarricenses, por lo que quizá cubrían y protegían con piedras o lajas las nacientes hasta el ingreso en los canales subterráneos.

*¿Existe contaminación antropogénica?* En relación al entorno que posee actualmente el Monumento Nacional Guayabo, se quiso determinar si las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan alrededor del Monumento han tenido algún impacto en la calidad del agua. Es por esto que se efectuó análisis de atrazina, bromacil, difenamida, etoprofos, prometrina y terbutrina (plaguicidas acreditados) en el tanque de sedimentación (T-101), obteniéndose resultados no detectables para todos los plaguicidas efectuados, con lo cual se confirma que no ha habido contaminación con estos plaguicidas en el acuífero que abastece la naciente 1.

Otros parámetros que podrían indicar contaminación antropogénica son los nitratos, nitritos y amonio, los cuales deben su origen por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, acumulación de abono y estiércol, mal manejo de las aguas residuales domésticas, incluida la falta de mantenimiento de tanques sépticos y descomposición de materia vegetal [17]. En los resultados efectuados a las nacientes y tanques del acueducto precolombino se obtuvieron

concentraciones no detectables para nitratos, nitritos y amonio, confirmando nuevamente la ausencia de contaminación antropogénica.

### Comparación de la calidad del agua del acueducto precolombino del MNG y el acueducto actual que abastece a la comunidad de Guayabo

El 2 de marzo del 2017 se realizó un muestreo a los dos acueductos que abastecen la Colonia Guayabo. Las nacientes de la ASADA se encuentran dentro del área de protección del Monumento Nacional Guayabo y a su vez aproximadamente a 500 m de distancia de las nacientes del acueducto precolombino. La georreferenciación de la captación de las nacientes es la indicada en el cuadro 8.

**Cuadro 8.** Nacientes ASADA Colonia Guayabo de santa teresita.

Punto de Muestreo	Latitud	Longitud	Altitud
Mezcla de Nacientes 1 y 2	E 533514	N 1103000	1152 msnm
Naciente 3	E 533303	N 1102968	1177 msnm

Las nacientes de la ASADA se encuentran bien captadas y protegidas y los sistemas de abastecimiento en general se encontraban en buenas condiciones de operación y mantenimiento. Analizando los resultados fisicoquímicos y microbiológicos presentados anteriormente en el cuadro 7, para el sector este, el agua cumple los parámetros establecidos para aguas de consumo humano; el sistema es clorado, sin embargo, en la red de distribución se incumple con la concentración de cloro residual libre mínimo de 0,3 mg/L que establece el reglamento vigente. Para el sector centro, de igual manera existe un cumplimiento de los parámetros. Sin embargo, este sistema es no clorado.

Analizando la calidad fisicoquímica de las nacientes, se puede observar como esta es muy similar al agua del acueducto precolombino, cuando la conductividad y la alcalinidad de las aguas se asemejan, se puede considerar que se trata de agua del mismo acuífero. La gran diferencia entre el sistema actual y el sistema precolombino se basa en la captación de las nacientes, ya que el sistema actual impide la contaminación con aluminio, hierro y coliformes fecales.

### Conclusiones y recomendaciones

- Según los criterios microbiológicos, el agua de la naciente 1 es de calidad buena para el muestreo 1 y de calidad excelente para los muestreos 2 y 3.
- Se constató que el canal superficial que transporta el agua de la naciente 1 hasta el tanque de sedimentación, conlleva a contaminación del agua.
- El proceso de clarificación que efectúa el tanque de sedimentación fue de suma importancia para obtener agua más limpia de contaminantes.
- Se demostró que el transporte subterráneo del agua entre los dos tanques continúa trabajando adecuadamente, impidiendo infiltración de agua o contaminantes.



- Según los criterios microbiológicos, el agua de la naciente 2 se clasifica como de calidad excelente para el muestreo 1 y de calidad buena para los muestreos 2 y 3.
- En las dos nacientes del acueducto precolombino se obtuvieron concentraciones elevadas de aluminio y en la naciente 2 de hierro, mientras que los demás parámetros resultaron con concentraciones aceptables o bajas.
- Según los parámetros evaluados, no existe contaminación antropogénica en el agua que abastece el acueducto precolombino.
- La calidad fisicoquímica del agua de los acueductos en cuestión es muy similar, por lo que se puede considerar que pertenecen al mismo acuífero.
- Las nacientes de la ASADA se encuentran bien captadas y protegidas, lo cual impide contaminación, así como sucedió con el acueducto precolombino.
- Debido a la importancia histórica y cultural, es fundamental que el Estado costarricense preserve el acueducto precolombino del MNG.

## Referencias

- [1] E. Mujica, "Pukara: Una sociedad compleja temprana en la cuenca norte de Titicaca," *Los Incas y El Antiguo Perú: 3000 Años de Historia*, vol. 1, pp. 272-297, 1991.
- [2] J. E. Díaz Ortiz and B. Freire Delgado, "Manejo del recurso hídrico en culturas precolombinas," *EIDENAR*, no. 7, pp. 75-83, 2008.
- [3] E. Mujica, *Arqueología del Santuario Histórico Nacional y Sitio Patrimonio Mundial de Machu Picchu: estado de la cuestión y propuestas para un plan maestro*, Cusco: PNUD/UNESCO, 1993.
- [4] M. Murillo Herrera, *Monumento Arqueológico Nacional Guayabo de Turrialba. Su historia, sus investigaciones, su manejo*, San José: EUNED, 2012.
- [5] ACCVC-SINAC y Onca Natural, *Plan General de Manejo del Monumento Nacional Guayabo*, Cartago, 2008.
- [6] J. R. Bonilla Brenes, *Análisis de las Estructuras Hidráulicas del Monumento Nacional Guayabo*, San José: Trabajo Final de Graduación, 2014.
- [7] American Public Health Association, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23 ed., Washington, 2017.
- [8] D. Mora, A. Mata and M. Sequeira, *Actualización de los criterios de calidad de aguas de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica 2012.*, Tres Ríos: LNA, 2012.
- [9] Decreto Ejecutivo N° 38924-S, *Reglamento para la Calidad del Agua Potable.*, San José: Diario Oficial La Gaceta, 2015.
- [10] G. Peraldo and L. G. Obando, "Geo-arqueología del Monumento Nacional Guayabo (MNG)," *Revista Geológica de América Central*, no. 44, pp. 119-130, 2011.
- [11] R. Tenorio Jiménez, *Monumento Nacional Guayabo, pasado precolombino de Costa Rica*, San José: Ministerio del Ambiente y Energía.
- [12] C. Carmona and G. Mora, "Monumento Guayabo Patrimonio Mundial de la Ingeniería," San José: *Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica*, no. 238, 2009.
- [13] UPADI, *Ingeniería: en el corazón del desarrollo*, San José, 2009.
- [14] G. Herrera Amighetti and A. C. Arias Quirós, "Los Petrograbados de Guayabo de Turrialba," *Revista Herencia*, vol. 29, no. 2, pp. 175-204, 2016.
- [15] R. Trejo and V. Hernández, "Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable," *Conciencia Tecnológica*, no. 25, 2004.
- [16] Organización Mundial de la Salud, *Guidelines for Drinking Water Quality. Fourth Edition*, Ginebra, 2011.
- [17] Laboratorio Nacional de Aguas, *Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH)*, Tres Ríos, 2017.

# Índice de calidad y continuidad de los servicios de agua para consumo humano en Costa Rica

## Costa rican drinking-water quality and availability index

Darner A. Mora-Alvarado<sup>1</sup>, Rafael Barboza-Topping<sup>2</sup>,  
Jimena Orozco-Gutiérrez<sup>3</sup>

---

Mora-Alvarado, D; Barboza-Topping, R; Orozco-Gutiérrez, J.  
Índice de calidad y continuidad de los servicios de agua para consumo humano en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*.  
Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 72-81.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4882>

---

1 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.  
2 Producción y Distribución de Sistemas Periféricos. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: rbarboza@aya.go.cr.  
3 Unidad de Investigación en Agua, Ambiente y Salud. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: jorozco@aya.go.cr.



## Palabras clave

Indicador; índice; cantidad; calidad; servicio

## Resumen

El presente documento tiene como objetivo establecer un indicador compuesto para evaluar la calidad de los servicios de agua para consumo humano en Costa Rica, mediante el uso combinado de los intervalos de continuidad del servicio del agua y el “índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano” (ircach), elaborado por el Laboratorio Nacional de Aguas (Ina). La metodología incluyó: 1) la definición de los intervalos del ircach, 2) la propuesta de intervalos de continuidad del servicio de suministro de agua en horas y porcentajes, 3) definición del índice de calidad y continuidad de los servicios de agua para consumo humano (iccsach), y 4) la aplicación del iccsach utilizando diez acueductos operados por el AYA. Los resultados obtenidos califican los servicios de agua de: excelente servicio aquel acueducto que obtiene 100% del puntaje, bueno el que obtiene en 80 y menos (<) de 100%, regular entre 60 y menos (<) de 80% y malo entre 40 y menos (<) de 60% y muy malo menor a 40%. En primera instancia se recomienda aplicar en el año 2018 este índice en los acueductos del AYA, en el 2019 en los acueductos municipales y rurales y en segunda instancia en el 2020 incorporar el parámetro de cantidad para ampliar el indicador compuesto a cantidad, calidad y continuidad del servicio.

## Keywords

Indicator; index; drinking-water quality and availability.

## Abstract

The present document aims to create a composite indicator for assessing drinking-water quality and availability based on continuity intervals for water supply and the drinking-water quality risks index (ircach) developed by the *laboratorio nacional de aguas* (Ina). The methodology consisted of the followings: 1) defining the intervals of the ircach, 2) proposing continuity intervals for water supply measured in hours and percentages, 3) defining the drinking-water quality and availability index (iccsach), and 4) applying the iccsach to ten aqueducts operated by AYA. Results showed five categories for assessing water supply: excellent for 100 % of continuity, good for at least 80 % and less than 100 % of continuity, regular for at least 60 % and less than 80 % of continuity, bad for at least 40 % and less than 60 % of continuity, and very bad for less than 40 % of continuity. For the 2018 drinking-water assessment, the present document recommends applying the iccsach for the AYA aqueducts only and included municipalities and rural aqueducts for the 2019 drinking-water assessment. Subsequently, it is recommended to include water volume to the index in order to assess water supply system.

## Introducción

La idoneidad de un sistema de abastecimiento de agua para consumo no debe depender solo de su calidad fisicoquímica y microbiológica, el mismo debe abarcar los conceptos de las “6c”, es decir cantidad, continuidad, calidad, costos, cobertura y la cultura hídrica de la población abastecida [1]. Según las “guías de la calidad de la OMS” en su tercera edición [2], estos conceptos se definen de la siguiente forma:

- *Cantidad o nivel del servicio.* Se refiere a la proporción de la población que tiene acceso a distintos niveles de abastecimiento de agua para consumo (por ejemplo, que no tiene acceso al agua, que cuentan con acceso básico, un acceso intermedio o un acceso óptimo).
- *Calidad.* Un sistema de abastecimiento de calidad cuenta con un plan de seguridad del agua (psa) aprobado, que ha sido validado y que se somete a auditorias periódicas para demostrar su conformidad.
- *Continuidad.* Es el porcentaje de tiempo durante el que se dispone de agua de consumo (con carácter diario, semanal y estacional).
- *Cobertura y accesibilidad.* Es el porcentaje de la población que tiene un acceso razonable a un sistema de abastecimiento mejorado con agua de calidad potable.
- *Costos, tarifas o asequibilidad.* Es la tarifa abonada por los consumidores domésticos.
- *Cultura hídrica.* Consiste en reconocer el valor del recurso, la importancia de este y hacer uso de las medidas de concientización y sensibilización en los cuales se incluye la necesidad de información respecto a las múltiples dimensiones de valores éticos, medioambientales, sociales, económicas, políticas y emocionales integrados en los ecosistemas, tomando como fundamento en el principio universal del derecho humano al agua, a la vida y su relación con el ambiente, la salud y el desarrollo de todas las formas de vida existentes [3].

En el nuevo contexto de los “objetivos de desarrollo sostenible” que van del 2016 al 2030 [4], la oms y unicef, mediante el programa conjunto de monitoreo (pcm), definieron el concepto de “agua potable gestionada de forma segura” [5], el cual se utiliza en el objetivo 6 sobre “agua limpia y saneamiento” [6].

Este concepto se define como “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 (flúor y arsénico)” [7].

Los elementos que contribuyen a este indicador de servicios de agua potable gestionados en forma segura son: accesibilidad, disponibilidad y calidad [8]. En el caso de la disponibilidad el agua debe estar de forma continua y en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades de ingesta e higiene personal, así como para otros menesteres domésticos.

En costa rica se ha comprobado que la discontinuidad de los servicios de agua potable provoca afectos retro-sifonaje en las tuberías y contaminación del agua, debido al vacío y la succión del agua de los tanques de los servicios sanitarios, generando el paso de agua de color azul causado por la coloración de una pastilla desinfectante.

Lógicamente, la coloración azul del agua no es el problema, por el contrario, el color azul del agua impide su consumo. El problema es en aquellos servicios sanitarios en que no usan las pastillas, porque el usuario al devolverse el agua del tanque a la red, la podría utilizar o consumir y presentarse algún grado de contaminación fecal.

Según la oms, los niveles de servicio y cantidad de agua recogida en los hogares se determinan, básicamente, en función de la distancia que existe entre cada hogar y el lugar de suministro de agua, o bien, del tiempo total necesario para ser recogida el agua. En el cuadro 1 se definen los cuatro niveles de servicio establecido por la oms.

**Cuadro 1.** Nivel de servicio y cantidad de agua recogida.

Nivel de servicio	Distancia/tiempo	Volúmenes probables de agua captada	Riesgo para la salud pública debido a una higiene deficiente	Prioridad de intervención y medidas
Sin acceso	Más de 1 km/más de 30 min, ida y vuelta	Muy bajo: 5 litros per cápita por día	Muy alto Práctica de higiene comprometida. El consumo básico puede estar comprometido	Muy alta Suministro del nivel básico de servicio. Educación sanitaria. Tratamiento y almacenamiento seguro de agua a nivel domiciliario como una medida provisional
Acceso básico	En 1 km/en 30 min, ida y vuelta	Promedio aproximado de 20 litros per cápita por día	Alto La higiene puede estar comprometida. La ropa puede lavarse fuera de la parcela	Alta Suministro del nivel de servicio mejorado. Educación sanitaria. Tratamiento y almacenamiento seguro de agua a nivel domiciliario como una medida provisional
Acceso intermedio	Agua suministrada en la parcela mediante al menos un grifo como mínimo (suministro en el patio)	Promedio aproximado de 50 litros per cápita por día	Bajo La higiene no debería estar comprometida. Es probable que la ropa se lave en la parcela	Baja La promoción de la higiene sigue generando beneficios para la salud. Fomento del acceso óptimo
Acceso óptimo	Suministro de agua a través de múltiples grifos en la vivienda	Promedio de 100-200 litros per cápita por día	Muy bajo La higiene no debería estar comprometida. La ropa se lava en la parcela	Muy baja La promoción de la higiene sigue generando beneficios para la salud

Elaborado por UNICEF [5]

En el caso de las comunidades que cuentan con su propio servicio de agua para consumo humano, mediante un acueducto, la cantidad, la continuidad y la calidad del agua, son parámetros muy importantes para evaluar la calidad del servicio. No obstante, para efectos prácticos en primera instancia, se propone la elaboración y aplicación del índice de calidad y continuidad de los servicios de agua para consumo humano en costa rica, el cual se fundamenta en la continuidad del servicio, expresado en horas o porcentajes de continuidad del servicio, y el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (ircach) [9] elaborado por el laboratorio nacional de aguas, para facilitar la interpretación del reglamento para la calidad del agua potable [10].

El presente trabajo busca establecer un indicador compuesto para evaluar la calidad de los servicios de abastecimiento de agua potable en costa rica, mediante un indicador compuesto que combine los intervalos del ircach, elaborado por el laboratorio nacional de aguas y los intervalos de los porcentajes de continuidad del suministro de agua, respectivo.

## Metodología

### Definición del objetivo e intervalos del ircach

La definición de los cinco niveles de riesgo asociado a la calidad establecidos en el ircach elaborado por el Ina, se obtuvieron de la versión 2 del documento del mencionado índice de riesgo para la calidad del agua para consumo humano, ajustado en marzo del 2018.

### Intervalos de los porcentajes en horas de continuidad del servicio

Con el apoyo del ing. Rafael barboza de la subgerencia de sistemas periféricos del aya, se calcularon los 5 intervalos en porcentaje de horas de suministro de agua para las 24 horas del día. La ecuación 1 muestra el cálculo correspondiente para obtener el porcentaje de continuidad del servicio:

Continuidad del servicio de acueducto:

$$CSA = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_i * T_i * I_i}{P_t * N}\right) * 100$$

Donde:

I = corresponde a cada desabastecimiento o suspensión de servicio ocurrido durante el periodo de análisis.

N = el número total de desabastecimientos ocurridos en el periodo.

Pi = estimación de la población/servicios afectada en cada desabastecimiento i.

Ti = tiempo en horas de duración del desabastecimiento i, una vez que se confirmó o cerró el boletín

Ii = factor de impacto por tipo de suspensión, inicialmente este factor será de 1 para los tres casos, sin embargo, de acuerdo al tipo, se podría aplicar diferente.

Pt = población/cantidad de servicios total del acueducto o sistema.

N = número de días del periodo evaluado, usualmente 30 días para hacerlo mensual, o 365 cuando se hace anualmente

Para determinarlos intervalos de evaluación de este parámetro se realiza una interpretación del artículo 95 de reglamento técnico: “prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado sanitario e hidrantes (ar-psaya-2015)”.

“Artículo 95.- Ajuste del monto de la facturación de los servicios en caso de discontinuidad.

*Los abonados del servicio de acueducto que reciban un servicio discontinuo cuya causa no sea caso fortuito, fuerza mayor o suspensiones programadas por mantenimiento, realización de mejoras o nuevas inversiones o daño causado por terceros; sino atribuible al prestador, durante el periodo de incumplimiento no se les cobrará el cargo fijo. En el caso de que no exista cargo fijo, se aplicará una disminución del 50% del monto de la factura.*

*El ajuste del monto será aplicable cuando la discontinuidad implique:*

- a. *Prestación del servicio menor a 16 horas naturales diarias durante al menos 20 días naturales al mes y*

- b. *Suspensión del servicio durante 24 horas naturales por más de tres días naturales consecutivos o más de 7 días naturales no consecutivos, ambos en el mismo mes.*

*La provisión de agua mediante sistemas alternativos de abastecimiento no eximirá al prestador de aplicar la excepción al pago del cargo fijo o la disminución del 50% del monto de la factura.*

*Las consideraciones de caso fortuito y fuerza mayor deben ser determinadas mediante evaluación del área técnica del prestador o demostradas por el abonado a la autoridad reguladora.*

*(Reformado por la junta directiva de la aresep, según resolución n° rjd-053-2016, publicada en alcance 55, la gaceta n° 69 del 12 de abril de 2016)" [11].*

Por ende, con respecto a la continuidad, se clasifico como un servicio de mala calidad aquel que cumpla la condición más crítica del artículo anterior. Se considera, para este caso lo siguiente:

- Una suspensión diaria de 8 horas, por 20 días en cada mes, lo que se puede incorporar al modelo utilizado como un servicio continuo durante 19 horas días, los 7 días de la semana, dentro de un mes calendario, lo cual sería una manera de calcular el rango de continuidad aceptable aquel que supere esta condición.
- Las demás clases se ajustan siguiendo este criterio.

### **Definición del índice de calidad y continuidad de los servicios de agua para consumo humano**

Debido a la importancia de la calidad y continuidad de los servicios de agua, se les otorgó el mismo peso a ambos indicadores en el aporte de cada intervalo del modelo del iccsach, para posteriormente sumar el puntaje de cada indicador (calidad y continuidad) y con esto definir los cinco intervalos del presente índice.

### **Implementación del índice de calidad y continuidad de la calidad de los servicios de agua para consumo humano**

La validación del sistema o modelo del iccsach propuesto se valida con los datos anuales del ircach y los porcentajes de la continuidad de los servicios de los siguientes acueductos:

- Co-a-05-atenas
- Co-a-18-mercedes de puriscal
- Co-a-12-nicoya
- Acueducto metropolitano
- Ha-a-03-limón
- Ha-a-02-cahuita
- Ch-a-56-curubandé de liberia
- Br-a-01.1-San isidro
- Co-a-12-los chiles
- Me-a-24.2-El berral de matinilla
- Br-a-16.1-Golfito: sector pueblo civil
- Me-a-13-san jerónimo

## Resultados y discusión

### Definición del objetivo e intervalos del ircach

En el cuadro 2 se muestran los distintos intervalos de riesgo del ircach elaborado por el Ina.

**Cuadro 2.** 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
$x \leq 5$	Riesgo muy bajo (RMB)	Azul	Apta para ingesta	Continuar suministro de manera normal, continuar control o vigilancia de la calidad del agua.
$5 < x \leq 10$	Riesgo bajo (RB)	Verde	Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de la calidad	Continuar suministro, implementar o mejorar control de la calidad del agua.
$10 < x \leq 20$	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.
$20 < x \leq 30$	Riesgo alto (RA)	Naranja	No apta para ingesta	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química y/o el Procedimiento de Inspecciones Ordinarias.
$x > 30$	Riesgo muy alto (RMA)	Rojo	No apta para ingesta	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, Procedimiento de Inspecciones Ordinarias, Procedimiento de Inspección para Emergencias de Brotes y/o el Procedimiento de Inspección para Emergencias Químicas.

Elaborado por Mora *et al.* [9]

### Intervalos de los porcentajes en horas de continuidad del servicio

En el cuadro 3 se muestran los distintos intervalos, propuestos por los autores, en porcentaje de horas de suministro de agua en las 24 horas del día.



**Cuadro 3.** Criterios de evaluación de la continuidad del servicio de agua para consumo humano.

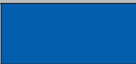




Horas continuas de prestación de servicio (horas/día)	Calificación	Rango Continuidad del Servicio de Agua	
24	Excelente	100 %	100 %
21 a <24	Muy bueno	88 %	<100 %
19 a <21	Regular	79 %	<88 %
16 a <19	Malo	67 %	<79 %
<16	Muy malo	0 %	<67 %

Definición del índice de calidad y continuidad de los servicios de agua para consumo humano  
 En los cuadros 4 y 5 se muestran las cinco clasificaciones del índice a proponer, que está conformado por el ircah y la continuidad del servicio de agua.

**Cuadro 4.** Índice de Calidad y Continuidad del Servicio de Agua para Consumo Humano.

IRCACH	Aporte al ICCSACH	Continuidad del servicio (horas/día)	Rango Continuidad del Servicio		Aporte al ICCSACH	Total Aporte ICCSACH
Muy bajo	50	24	100 %	100 %	50	100
Bajo	40	21-<24	88 %	<100 %	40	80
Intermedio	30	19-<21	79 %	<88 %	30	60
Alto	20	16-<19	67 %	<79 %	20	40
Muy alto	0	<16	0 %	<67 %	0	0

**Cuadro 5.** Índice del Servicio de Agua para Consumo Humano

Total de puntos de calidad del servicio de agua potable	Calidad del servicio de agua	
100%	Excelente	
80-<100	Bueno	
60-<80	Regular	
40-<60	Malo	
<40	Muy malo	

## Aplicación del índice de calidad y continuidad de la calidad de los servicios de agua para consumo humano

La aplicación del iccsach se observa en el cuadro 6, la cual se realizó utilizando los datos anuales del ircach y los porcentajes de la continuidad de los servicios de los acueductos especificados anteriormente.

**Cuadro 6.** Aplicación del ICCSACH con datos recopilados durante el 2017

Acueducto	IRCACH		Continuidad		ICCSACH	
CO-A-05-Atenas	Muy bajo	50	Muy malo	0	Malo	50
CO-A-18-Mercedes de Puriscal	Muy bajo	50	Muy malo	0	Malo	50
CO-A-12-Nicoya	Muy bajo	50	Muy bueno	40	Bueno	90
Acueducto Metropolitano	Muy bajo	50	Muy bueno	40	Bueno	90
HA-A-03-Limón	Muy bajo	50	Muy bueno	40	Bueno	90
HA-A-02-Cahuita	Muy bajo	50	Excelente	50	Excelente	100
CH-A-56-Curubandé de Liberia	Muy alto	0	Excelente	50	Malo	50
BR-A-01.1-San Isidro	Muy bajo	50	Muy bueno	40	Bueno	90
CO-A-12-Los Chiles	Muy bajo	50	Muy bueno	40	Bueno	90
ME-A-24.2-El Berral de Matinilla	Alto	20	Excelente	50	Regular	70
BR-A-16.1-Golfito: sector Pueblo Civil	Muy bajo	50	Malo	20	Regular	70
ME-A-13-San Jerónimo	Muy bajo	50	Excelente	50	Excelente	100

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

La aplicación o validación del iccsach en los 10 acueductos seleccionados, permite hacer las siguientes conclusiones:

- La combinación de los intervalos del ircach y los criterios de evaluación de la continuidad del servicio es más práctico y provechoso para evaluar el riesgo que tiene para la salud de los usuarios abastecidos por el acueducto respectivo.
- El iccsach permite evaluar en primera instancia la calidad de los servicios de agua para consumo humano, tomando en cuenta la calidad y continuidad del suministro de agua en cada acueducto del país.

### Recomendaciones

- Aplicar el iccsach en todos los acueductos operados y administrados por el aya, mediante un informe anual en el 2018.

- Corregir o realizar lo que se considere necesario en el iccsach en enero del 2019.
- Ampliar el uso del iccsach para evaluar los servicios de agua para consumo humano, en acueductos comunales y municipales en el 2019, y preparar informes de ambos por separado, en el primer trimestre del 2020.
- Analizar la posibilidad de ampliar el índice de calidad de los servicios de agua para consumo humano, con otro indicador cuantificable como cantidad, accesibilidad o costos, y la cultura hídrica, para contar con un indicador más completo, y poder valorar la calidad de los servicios de agua potable utilizando un índice más completo.

## Referencias

- [1] OPS, *Evaluación Global de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento 2000*, Washington, 1999, pp. 1-17.
- [2] OMS, *Guías para la Calidad del Agua Potable*, Tercera Edición ed., Ginebra, 2011.
- [3] N. Briceño, *La cultura hídrica como base para la sostenibilidad*, Concagua, 2015.
- [4] CEPAL, *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe*, Santiago, 2018, pp. 1-63.
- [5] UNICEF, *Agua potable gestionada en forma segura*, Biblioteca de la OMS, 2017, pp. 1-56.
- [6] PNUD, *Agua Limpia y Saneamiento*, 2018.
- [7] UNICEF, *Progresos en Materia de Agua, Saneamiento e Higiene 2017*, Nueva York, 2018, pp. 1-109.
- [8] UNICEF, *WASH en la Agenda 2030. Nuevos indicadores a nivel mundial para agua para consumo, saneamiento e higiene*, Nueva York, 2017.
- [9] D. Mora, J. Orozco, Y. Solís, P. Rivera, D. Cambronero, L. Zúñiga y J. García, «Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH),» vol. 31, n° 3, pp. 3-14, 2018.
- [10] Ministerio de Salud, *Reglamento para la Calidad del Agua Potable*, San José, 2015.
- [11] ARESEP, *Reglamento Técnico: "Prestación de los Servicios de Acueducto, Alcantarillado Sanitario e Hidrantes (AR-PSAyA-2015)*, San José: La Gaceta N°69, 2016, pp. 31-32.

# Interpretación de Calidad de Agua para Casos con Potencial Intrusión Salina

## Interpretation of Water Quality for Cases with Potential Saline Intrusion

Andrés Lazo-Páez<sup>1</sup>, Yuliana Solís-Castro<sup>2</sup>

---

Lazo-Páez, A; Solís-Castro, Y. Interpretación de Calidad de Agua para Casos con Potencial Intrusión Salina. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 82-96.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4883>

1 Área Funcional Investigación Aplicada. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Costa Rica. Correo electrónico: [alazo@aya.go.cr](mailto:alazo@aya.go.cr).

2 Laboratorio Nacional de Aguas. Área de Química de Agua Potable. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: [ysolis@aya.go.cr](mailto:ysolis@aya.go.cr).



## Palabras clave

Intrusión salina; indicador,; agua potable.

## Resumen

Una correcta interpretación de la calidad del agua, como parte de la gestión de servicios de agua potable, constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones. Esto aplica de manera particular a casos en los cuales existe agua cuya composición de sólidos disueltos totales difiere de la condición típica para una determinada zona geográfica. Es por ello que, en el presente estudio se presenta una metodología breve que permite establecer un criterio preliminar si una calidad de agua específica se encuentra afectada por una condición de intrusión salina, o bien si lo que se encuentra es influencia de un estrato geológico propiamente. Según el ejercicio realizado, los indicadores más adecuados para la aplicación en cuestión son: tendencias históricas de conductividad y cloruros, razón de Simpson, relación calcio – magnesio, relación sodio – cloruro, intercambio de iones, y el comportamiento de los sólidos disueltos totales. Estos índices de calidad permiten identificar claramente los casos de intrusión salina, frente a otros tales como: alta dureza total, alta concentración de sólidos disueltos, metales disueltos, o incluso aguas muy ácidas o básicas. Aunque pueden existir más tipos de herramientas, se considera que el grupo de índices identificados constituyen un punto de partida técnico y bien fundamentado para la gestión de los servicios cuyas fuentes se podrían ver afectadas por diferentes tipos de cambios en la calidad del agua.

## Keywords

Saline intrusion; index; drinking water.

## Abstract

The right water quality data interpretation must be considered, as a main part of the drinking water supply management, and it is also plays a key role in decision making. This situation usually applies when the dissolved solids profile in a specific water sample is completely different from typical behaviors in a specific geographical area. Therefore, the current study introduces a brief methodology that allows the establishment of preliminary water quality criteria, when water is affected by salt water intrusion, or even if it suffers the influence of a geological condition. According to calculations presented in this document, the most adequate indexes for the water quality evaluation are: historical conductivity and chloride trends, Simpson ration, calcium-magnesium ratio, sodium-chloride ratio, ion exchange ratios, and the behavior of the total dissolved solids. These calculations allow the differentiation between a saltwater intrusion condition and other rare situations, such as: hard water, high total dissolved solids concentration, dissolved metals, or even very basic or acidic waters. Even though some other tools might exist, the ones presented in this document can be used as a starting point, with a very robust and science – based background, in order to support the management of drinking water services whose quality faces changes without a clear explanation.

## Introducción

La valoración de la calidad del agua, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos, es fundamental en los proyectos de abastecimiento de agua para consumo humano. En adición a la disponibilidad del recurso hídrico, se debe considerar si se cumple lo establecido en el

Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo 38924-S. En este sentido, una de las preocupaciones es la posibilidad de encontrar acuíferos con potencial de intrusión salina, generalmente en función con la cercanía al mar o a un estero. Esta condición no sólo representa un problema de contaminación, sino que también es un indicador claro de deterioro del acuífero como tal, lo cual probablemente podría afectar sistemas cercanos.

Por otra parte, en el gremio de los administradores de servicios de agua potable, es posible encontrar algunos mitos relacionados con el potencial de intrusión salina. La sola presencia de algunos iones en el agua en ciertas concentraciones (cloruro, sodio, magnesio, sulfato...), o bien cierta magnitud de conductividad, se interpreta como afectación de la fuente de agua dulce por el fenómeno antes indicado. En el presente documento se presentan las consideraciones que recomiendan diversos científicos en el mundo para generar un criterio técnico firme al respecto.

Para la presentación de los resultados se emplea la metodología de casos de estudio. Se utilizan caracterizaciones de pozos reales para validar un grupo de indicadores propuestos para evidenciar el potencial de intrusión salina. Finalmente, se emiten los criterios técnicos a considerar para el correcto uso de la herramienta.

## Marco conceptual

Existe una gran variedad de indicadores que han sido propuestos para valorar casos de posible intrusión salina, los cuales se muestran a continuación.

### Tendencia histórica del valor de conductividad y concentración de cloruros

Tal y como indica Abdalla [1], el agua de mar tiene generalmente una composición química muy uniforme, dado el gran tiempo de retención de los constituyentes iónicos más importantes. Por otra parte, el agua dulce de fuentes subterráneas se caracteriza por composiciones altamente variables. Aunque una gran parte de los indicadores estudiados para el tema de intrusión salina contemplan una razón respecto al cloruro, es claro que un incremento de la concentración de los iones cloruro en agua subterránea es un criterio preliminar de potencial intrusión salina.

Dado el incremento tan marcado en cloruros, los cuales son parte de los sólidos disueltos totales presentes en el agua, es de esperar un incremento de la conductividad junto con la variación en la concentración de iones disueltos. Ahora bien, desde el punto de vista de magnitudes, es posible encontrar que autores como Scheidleder [2] sugieren vigilancia de la tendencia histórica de los cloruros entre 100 mg/L y 250 mg/L, aunque en Costa Rica el Reglamento para la Calidad del Agua Potable vigente sugiere esta vigilancia desde 25 mg/L y en términos de conductividad desde 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Razón de Simpson

Según Abdalla [1], el ion cloruro es dominante en agua de mar, mientras que solamente se encuentra en pequeñas cantidades en agua subterránea. Mientras tanto, el ion bicarbonato usualmente está en grandes cantidades en el agua subterránea, mientras que es difícil encontrar valores significativos en el agua de mar. De acuerdo con los resultados obtenidos con la relación de la ecuación 1 y según las estimaciones realizadas por Todd [3], es posible generar un indicador de calidad de agua según la clasificación que se muestra en el cuadro 1. Estas seis clases se deben valorar en conjunto con otros criterios que permitan emitir un criterio integral de calidad de agua y la influencia de otras posibles fuentes de afectación a la calidad del agua.

$$\text{Razón de Simpson} = \frac{\text{Cl}}{\text{CO}_3 + \text{HCO}_3} \quad (1)$$

**Cuadro 1.** Contaminación presuntiva por intrusión salina según la razón de Simpson [1].

Clasificación del agua	Valor
Buena calidad	$\leq 0.5$
Ligeramente contaminada	0.5 - 1.3
Moderadamente contaminada	1.3 - 2.8
Muy contaminada	2.8 - 6.6
Altamente contaminada	6.6 - 15.5
Severamente contaminada	$> 15.5$

### Relación Ca/Mg

Según indica Hounslow [4], de acuerdo a la composición típica del agua de mar, es de esperar una relación molar Ca/Mg cercana a 0.18, el cual es un valor bastante distante de lo que se puede encontrar en agua subterránea, en la cual el magnesio típicamente se encuentra en cantidades mucho menores al calcio [5]. Por lo tanto, respecto a este parámetro es posible indicar que valores  $\text{Ca/Mg} \leq 1$  indican un potencial de intrusión salina [6] [7]. Tal comportamiento se relaciona con una disminución progresiva del valor por presencia de iones magnesio. Probablemente, una relación menor a 1 se presentará en etapas más avanzadas de la intrusión salina, dado que en los inicios existe un enriquecimiento repentino del calcio. Es por ello que se propone una valoración progresiva de estos indicadores.

### Relación Na/Cl

La valoración de la relación molar entre el sodio y el cloruro parte de la composición común del agua de mar. Según Klassen et al [6], un valor y típico de esta relación en agua de mar es 0.86, mientras que agua con contaminación antropogénica muestra valores superiores a 1 [5]. El fenómeno de intrusión salina generalmente inicia con valores de Na/Cl bajos.

### Intercambio de iones

En ocasiones se puede confundir un potencial fenómeno de intrusión salina con otros procesos que ocurren en el agua subterránea. Uno de esos casos tiene que ver con las posibles interacciones entre el agua y rocas subterráneas, o bien por interacción con materiales acumulados en el terreno. Es común que se presenten procesos naturales de intercambio iónico, especialmente con arcillas (intercambio de cationes), o bien fenómenos de disolución y precipitación de carbonatos [5]. En acuíferos costeros, el proceso de intercambio es indicador de fenómenos de “lavado” de material geológico durante época lluviosa y se caracteriza por una relación  $(\text{HCO}_3 + \text{SO}_4)/(\text{Ca} + \text{Mg})$  mayor a uno. El proceso de intercambio catiónico inverso se refiere a la influencia de agua salina, donde hay intercambio de iones sodio o potasio en agua subterránea por calcio y magnesio en el acuífero [1].

En adición a lo anterior, también se han realizado algunos intentos para verificar este comportamiento del agua en el subsuelo, por medio de un indicador conocido como BEX (intercambio de bases). Este parámetro permite determinar si el acuífero se está salinizando o si sufre el efecto contrario, o bien, si ya ha experimentado estos fenómenos. De acuerdo con Stuyfzand [8], se supone que el agua de mar (con altas concentraciones de Cl, Na, K y Mg) desplaza el agua fresca que contenía altas concentraciones de Ca y  $\text{HCO}_3$ , o viceversa. Se

supone que al menos el sodio se adsorbe durante la salinización, o bien, el calcio se adsorbe durante la recuperación del acuífero. Las expresiones para aproximar el fenómeno que ocurre en cada acuífero son:

$$BEX = Na + K + Mg - 1.0716 \cdot Cl \text{ (meq/L)} \quad (2)$$

$$BEX_D = Na + K - 0.8768 \cdot Cl \text{ (meq/L)} \quad (3)$$

En el cual la ecuación 2 aplica para sistemas sin dolomita y la ecuación 3 para sistemas con dolomita. Los coeficientes que acompañan al ion cloruro en la ecuación corresponden a las relaciones equivalentes de los cationes versus el ion cloruro, considerando la composición típica del agua de mar. Ahora bien, la interpretación de los resultados se realiza según se indica en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Interpretación del parámetro BEX [8].

Balance BEX	Sólo intercambio
Negativo	Salinizado
Cero	No hay intercambio
Positivo	Recuperado

Stuyfzand [8] también aporta herramientas para interpretar adecuadamente el índice BEX, según criterios de calidad de agua, entre las cuales se destacan:

- BEX como falso positivo: disolución de minerales como dolomita ( $Mg^{2+}$ ) o albita ( $Na^+$ ), mineralización de biomasa fresca ( $K^+$ ) o lixiviación de fertilizantes o residuos orgánicos ( $K^+$ ).
- BEX como falso negativo: disolución de halita (poco  $K^+$  y  $Mg^{2+}$ ), transformación de minerales como dolomitización ( $Mg^{2+}$ ), formación de nuevos minerales ( $K^+$ ,  $Na^+$  y  $Mg^{2+}$ ), síntesis de biomasa ( $K^+$ ) o depósito de cloro en forma gaseosa ( $Cl^-$ ).
- Si el cloruro decrece o se mantiene constante, y la tendencia del BEX es: de positivo a cero, hay recuperación; de cero a positivo, hay salinización o falso positivo de BEX; más negativo, hay falso negativo de BEX.
- Si el cloruro crece y la tendencia BEX es positiva, salinización por alguna fuente no identificada (diferente al agua marina).

### Sólidos disueltos totales

Crittenden [9] indica que los sólidos disueltos totales (SDT) son una referencia indirecta de posibles procesos de intrusión salina. El autor recomienda verificar la tendencia histórica de este parámetro, vigilando valores entre 500 mg/L y 1000 mg/L, pues al llegar a 1000 mg/L ya se considera como agua salobre. Este es un parámetro de fácil medición el cual se puede determinar de manera experimental o mediante la ecuación 4:

$$SDT = 0.6 \cdot Alcalinidad + Na + K + Ca + Mg + Cl + SO_4 + SiO_3 + NO_3 + F \quad (4)$$

Para la determinación de este indicador se utilizó la ecuación 4, suponiendo una concentración de sílice de 70 mg/L, para todos los casos.



## Otros indicadores

En la literatura es posible encontrar otros indicadores los cuales fueron valorados en este estudio, pero que, al emplear datos reales de calidad de agua no permitieron una identificación clara de la condición de la misma. Una herramienta muy recomendada para análisis más detallado de datos son los diagramas hidroquímicos, como: Collins, Piper, Stiff, entre otros [10].

## Metodología

En primera instancia, con el fin de identificar pozos que permitan ilustrar casos con composición de agua con intrusión salina o similar, se tomó como punto de partida la información de calidad de agua fisicoquímica que posee el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), en la cual los parámetros se encuentran acreditados ante la norma INTE-ISO-IEC 17025:2005 siguiendo los criterios del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [11]. Una vez consolidada la información, se le aplica los indicadores publicados en fuentes internacionales y que fueron mencionados en el marco de referencia. En una segunda etapa, se valoraron los resultados obtenidos en cada caso de estudio, y se explicaron los fenómenos a los cuales responden los resultados. Asimismo, se trató de establecer las causas por las cuales cada indicador mostró los resultados obtenidos. Finalmente, se empleó los datos generados para recomendar una herramienta consolidada para valorar de manera científica y objetiva casos de posible intrusión salina.

## Análisis de resultados

Para los casos de estudio se utilizó la calidad fisicoquímica puntual del agua de siete pozos del país, la cual se muestra en el cuadro 3. Los datos analíticos se obtuvieron del programa de control y vigilancia de calidad del agua que efectúa el LNA. Además, se utilizó los datos históricos de conductividad y cloruros los cuales se muestran más adelante en los gráficos de tendencia histórica.

**Cuadro 3.** Calidad fisicoquímica puntual de los siete pozos en estudio.

Parámetro	Pozo CN 484 Papa-gayó	Pozo Villa Nueva Coyolar- Caldera	Pozo Socorrito 1 Punta- renas	Pozo 3 Bolsón Ortega	Pozo AB 2330 La Uruca	Pozo 7 Santa Teresa Cóbano	Pozo Jobo 2 Tama- rindo
	AYA- ID-09870- 2015	AYA- ID-08135- 2018	AYA- ID-02272- 2017	AYA- ID-06814- 2018	AYA- ID-04551- 2014	AYA- ID-01995- 2015	AYA- ID-08351- 2016
Alcalinidad (mg/L)	150	177	167	256	310	360	242
Aluminio (µg/L)	N.D.	8,7	22,3	D.	N.D.	19,9	7
Amonio (mg/L)	-	-	D.	D.	-	-	N.D.
Antimonio (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

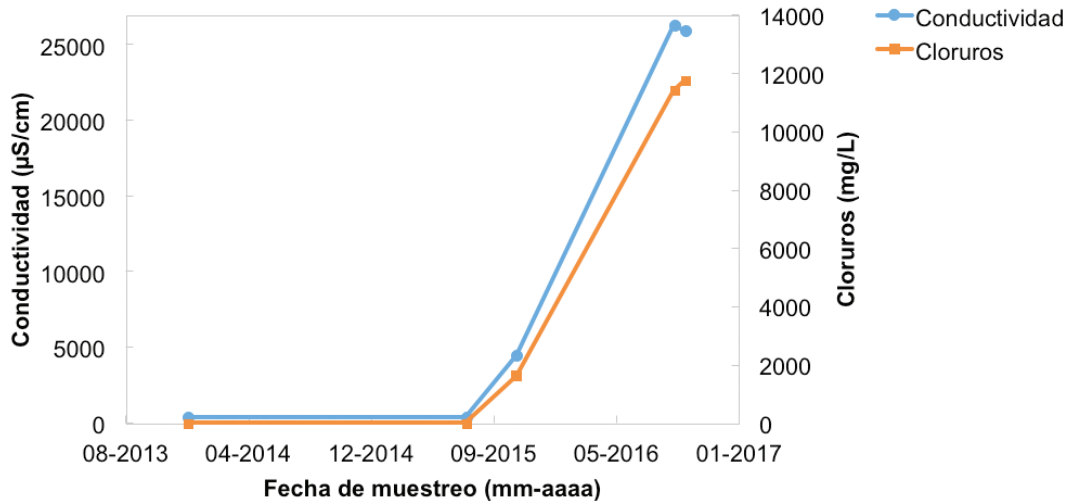
Continúa...

Continuación

Parámetro	Pozo CN 484 Papa-gayo	Pozo Villa Nueva Coyolar- Caldera	Pozo Socorrito 1 Punta- renas	Pozo 3 Bolsón Ortega	Pozo AB 2330 La Uruca	Pozo 7 Santa Teresa Cóbano	Pozo Jobo 2 Tama- rindo
	AYA- ID-09870- 2015	AYA- ID-08135- 2018	AYA- ID-02272- 2017	AYA- ID-06814- 2018	AYA- ID-04551- 2014	AYA- ID-01995- 2015	AYA- ID-08351- 2016
Cadmio (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Calcio (mg/L)	588,4	54,1	59,2	103	69,7	17,6	74,2
Cloruros (mg/L)	1616,7	311,67	23,65	198,14	409	24,81	52,71
Cobre (µg/L)	N.D.	D.	D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Color (UPt-Co)	D.	D.	D.	4	5	N.D.	N.D.
Conductividad (µS/cm)	4510	1450	481	1065	1635	974	694
Cromo (µg/L)	3,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dureza Calcio (mg/L)	1471	135	148	258	174	44	185
Dureza Total (mg/L)	2337	145	205	441	386	68	343
Fluoruros (mg/L)	N.D.	0,3	N.D.	N.D.	0,37	0,12	N.D.
Fosfatos (mg/L)	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hierro (µg/L)	8561,3	21,8	543,1	10,6	1835	35,7	6,1
Magnesio (mg/L)	210,5	2,5	13,9	44,5	51,5	5,7	38,2
Manganeso (µg/L)	19,4	265,7	D.	N.D.	162	9,4	N.D.
Mercurio (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	D.	N.D.	N.D.	N.D.
Níquel (µg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Nitratos (mg/L)	1,49	7,58	15,1	10,74	N.D.	N.D.	9,85
Nitritos (mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
pH	6,83	6,98	7,05	7,01	6,28	8,14	7,3
Plomo (µg/L)	N.D.	D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	D.
Potasio (mg/L)	1,4	D.	3,3	N.D.	32,6	16,3	N.D.
Selenio (µg/L)	D.	N.D.	0,7	N.D.	N.D.	N.D.	D.
Sílice (mg/L)	Para el cálculo de los SDT se supone una concentración de 70 mg/L						
Sodio (mg/L)	21,5	231,5	13,3	40,9	258,2	204,7	13,7
Sulfatos (mg/L)	229,72	27,39	22,16	40,03	39,01	134,96	29,16
Turbiedad (UNT)	0,97	0,61	2,77	0,36	1,5	0,2	D.
Zinc (µg/L)	197,9	14,2	4,8	227,3	29	N.D.	43,9

### Caso 1. Pozo CN 484 de Papagayo Sur

En la figura 1 se muestra los datos históricos (del 2013 al 2016) de conductividad y concentración de cloruros, en el gráfico se evidencia como en el año 2015, el agua tuvo un incremento repentino en la concentración de cloruros y la conductividad. Para dos posteriores muestreos en el 2016, se puede observar como los valores aumentan exponencialmente, indicando intrusión salina. Por otro lado, en el cuadro 4, se muestran los resultados de los demás indicadores.



**Figura 1.** Tendencia histórica de conductividad y cloruros para el Pozo CN 484 de Papagayo Sur.

**Cuadro 4.** Resultados de los indicadores para el Pozo CN 484 de Papagayo Sur.

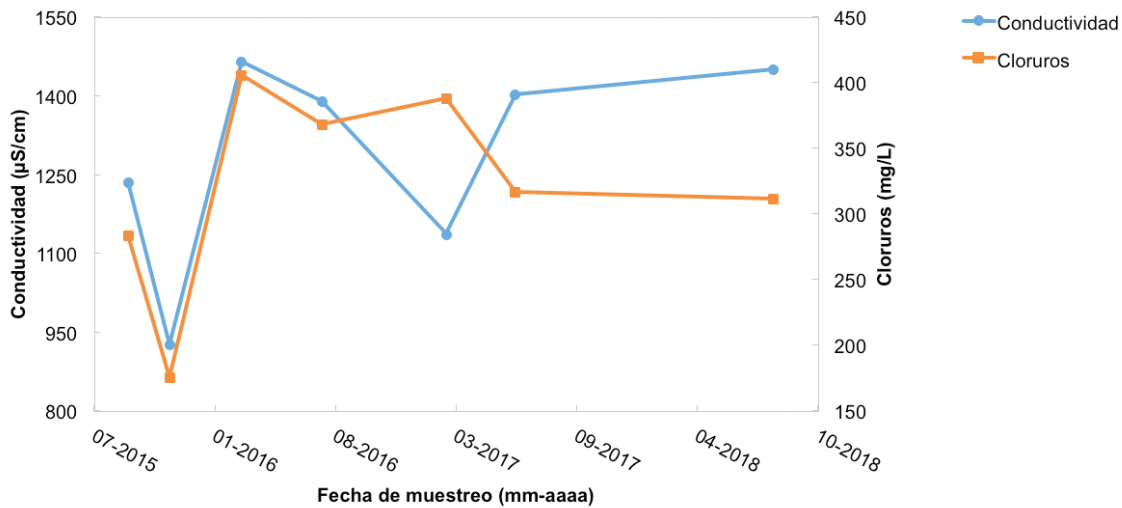
Indicador	$\frac{Cl}{CO_3+HCO_3}$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{Cl}$	BEX (meq/L)	SDT (mg/L)
Valor	18.5	1.68	0.02	-43.4	2857
Observación	Agua severamente contaminada	El acuífero no se encontraba en una etapa tan avanzada de intrusión salina	Impacto de intrusión salina	Impacto de intrusión salina	Agua salobre

Como se puede observar, en este caso todos los indicadores coinciden en que existe impacto por intrusión salina y la razón de Simpson indica que el agua está severamente contaminada; sin embargo, la concentración de magnesio no fue lo suficientemente elevada en relación con el calcio como para que el indicador de la relación la catalogara con intrusión salina avanzada.

### Caso 2. Pozo Villa Nueva de Línea Coyolar – Caldera

En la figura 2 se muestra la tendencia histórica de concentración de cloruros y conductividad, del 2015 al 2018. Este pozo posee una conductividad alrededor de 1300 µS/cm y cloruros en torno a 300 mg/L, lo cual se podría confundir con alguna tendencia a intrusión salina. Sin

embargo, como se puede observar en el gráfico, en los 7 muestreos efectuados durante 4 años no se ha observado tendencia considerable a incremento en ninguno de los dos parámetros. En el cuadro 5 se muestran los resultados de los demás indicadores, los cuales coinciden en que el agua está contaminada, pero que la misma no se debe a intrusión salina. Es agua muy mineralizada, principalmente con cloruro de sodio.



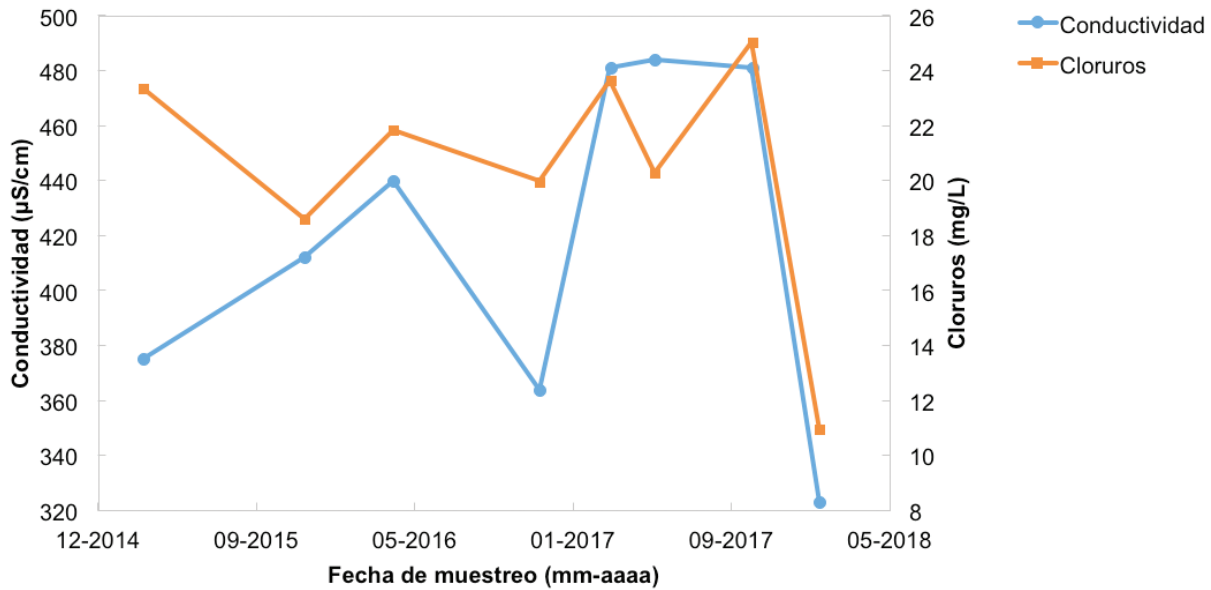
**Figura 2.** Tendencia histórica de conductividad y cloruros para el Pozo Villa Nueva de Línea Coyolar – Caldera

**Cuadro 5.** Resultados de los indicadores para el Pozo Villanueva de Línea Coyolar – Caldera.

Indicador	$\frac{Cl}{CO_3+HCO_3}$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{Cl}$	BEX (meq/L)	SDT (mg/L)
Valor	3.0	12.98	1.15	0.7	830
Observación	Agua con contaminación evidente	Indica que la contaminación no es por intrusión salina	Indica que la contaminación no es por intrusión salina	No intrusión salina	Agua no salobre, pero en alerta

### Caso 3. Pozo Socorrito 1 en Puntarenas

En la figura 3 se muestra la tendencia histórica de conductividad y cloruros para el Pozo Socorrito 1 en Puntarenas, los datos son de ocho muestreos efectuados entre el 2015 y el 2018. El pozo se caracteriza por poseer agua dura, generalmente con una dureza total mayor a 200 mg/L (ver cuadro 3). Además, en algunos muestreos la conductividad ha alcanzado casi los 500 µS/cm, lo que podría generar dudas acerca si esos resultados representan intrusión salina o no. Observando el gráfico es notorio como no existe tendencia a incremento en los cuatro años y por lo tanto no existe impacto por intrusión salina. En el cuadro 6 se detallan los resultados de los demás indicadores. Como se pudo observar, para este caso todos los indicadores coincidieron en que el agua es de buena calidad y no se encuentra salinizada ni contaminada.



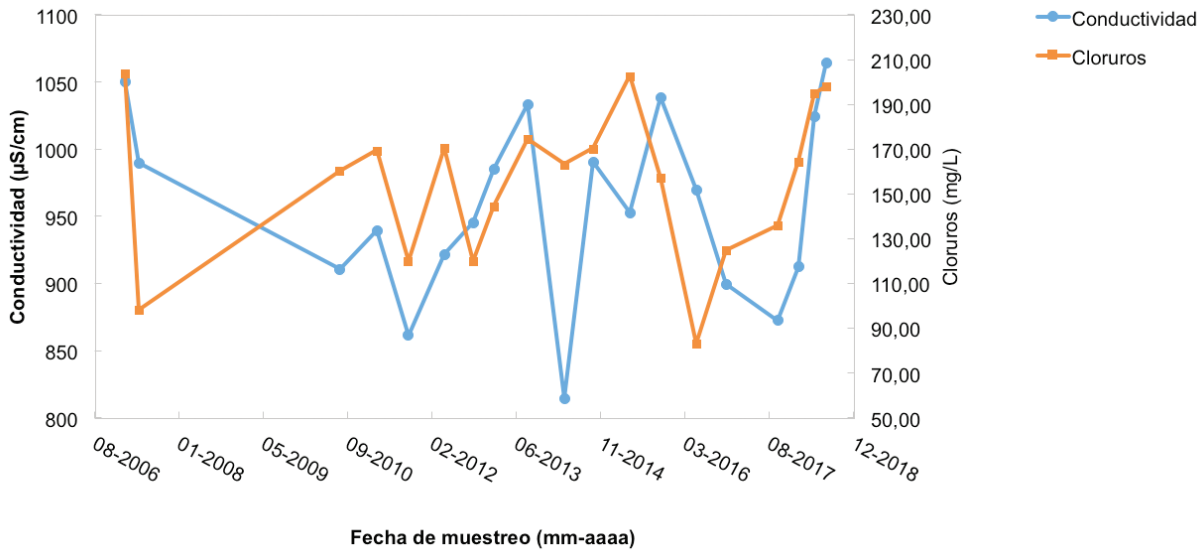
**Figura 3.** Tendencia histórica de conductividad y cloruros para el Pozo Socorrito 1 en Puntarenas.

**Cuadro 6.** Resultados de los indicadores para el Pozo Socorrito 1 en Puntarenas.

Indicador	$\frac{Cl}{CO_3+HCO_3}$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{Cl}$	BEX (meq/L)	SDT (mg/L)
Valor	0.2	2.56	0.87	0.2	340
Observación	Agua de buena calidad	No salinizado	Ni salinizado ni contaminado	No intrusión salina	Agua no salobre

#### Caso 4. Pozo 3 en Bolsón de Ortega

En la Figura 4 se muestra la tendencia histórica de 19 muestreos efectuados desde el 2006 hasta el 2018, para la concentración de cloruros y conductividad en el Pozo 3 en Bolsón de Ortega. Como se puede observar la conductividad oscila entre 800 µS/cm y 1000 µS/cm sin ninguna tendencia definida, igual sucede para la concentración de cloruros la cual oscila entre 60 mg/L y 200 mg/L. Valores tan altos en la conductividad suelen asociarse con el mito de intrusión salina, sin embargo, los datos históricos de los últimos 12 años no indican tendencia a incremento y, por lo tanto, según este indicador no debería considerarse como un pozo salinizado. En el cuadro 7 se muestran los resultados de los demás indicadores, según la razón de Simpson, existe contaminación entre leve y moderada (no precisamente por intrusión salina). La concentración de magnesio no fue lo suficientemente alta, en comparación con el calcio, para que el indicador calificara el agua con intrusión. La relación Na/Cl no indicó intrusión ni contaminación antropogénica. Los sólidos disueltos totales califican el agua del pozo en alerta, a punto de ser agua salobre. El único indicador que no coincidió con los demás fue el BEX, el cual calificó el agua como salinizada, siendo en realidad mineralizada.



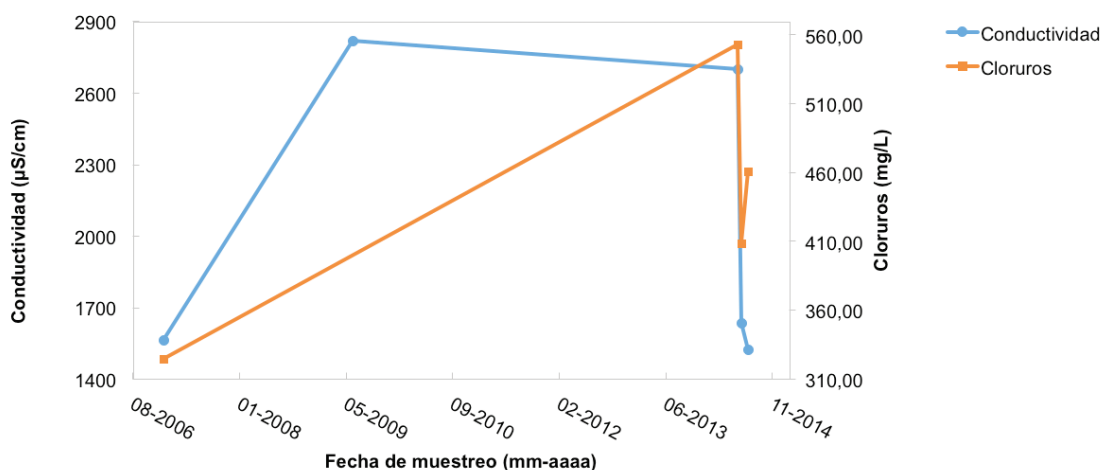
**Figura 4.** Tendencia histórica de conductividad y cloruros para el Pozo 3 en Bolsón de Ortega.

**Cuadro 7.** Resultados de los indicadores para el Pozo 3 en Bolsón de Ortega.

Indicador	$\frac{Cl}{CO_3+HCO_3}$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Na}{Cl}$	BEX (meq/L)	SDT (mg/L)
Valor	1.3	1.39	0.32	-3.3	878
Observación	Contaminación entre leve y moderada	No existe potencial de intrusión salina	No indica intrusión salina ni contaminación antropogénica	Impacto de intrusión salina	Agua no salobre, pero en alerta

### Caso 5. Pozo AB 2330 en La Uruca

Este pozo nunca ha estado en uso, debido a que desde que se perforó presentó calidad de agua no apta para consumo humano. Así como se puede observar en el cuadro 3, el agua posee altas concentraciones de arsénico, cloruros, hierro, magnesio, potasio y sodio, lo cual incumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable [12]. Por otro lado, en la figura 5, se puede observar la gráfica de tendencia histórica. Los resultados de muestreos han presentado conductividades entre 1500 µS/cm y 2800 µS/cm y cloruros entre 320 mg/L y 550 mg/L, aunque es posible ver un gran incremento en la conductividad y los cloruros en los primeros tres muestreos, no se mantiene la tendencia, sino por el contrario, los parámetros vuelven a disminuir. Para este caso, no pareciera que la tendencia histórica sea el indicador más adecuado, ya que posee pocos valores y existe diferencia de hasta 5 años entre un muestreo y otro.



**Figura 5.** Tendencia histórica de conductividad y cloruros para el Pozo AB 2330 en La Uruca.

**Cuadro 8.** Resultados de los indicadores para el Pozo AB 2330 en La Uruca.

Indicador	$\frac{\text{Cl}}{\text{CO}_3 + \text{HCO}_3}$	$\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$	$\frac{\text{Na}}{\text{Cl}}$	BEX (meq/L)	SDT (mg/L)
Valor	2.3	0.81	0.97	0.8	1137
Observación	Contaminación evidente	Impacto de intrusión salina	Cercano a 1, indica contaminación de otro tipo	No intrusión salina	Agua salobre

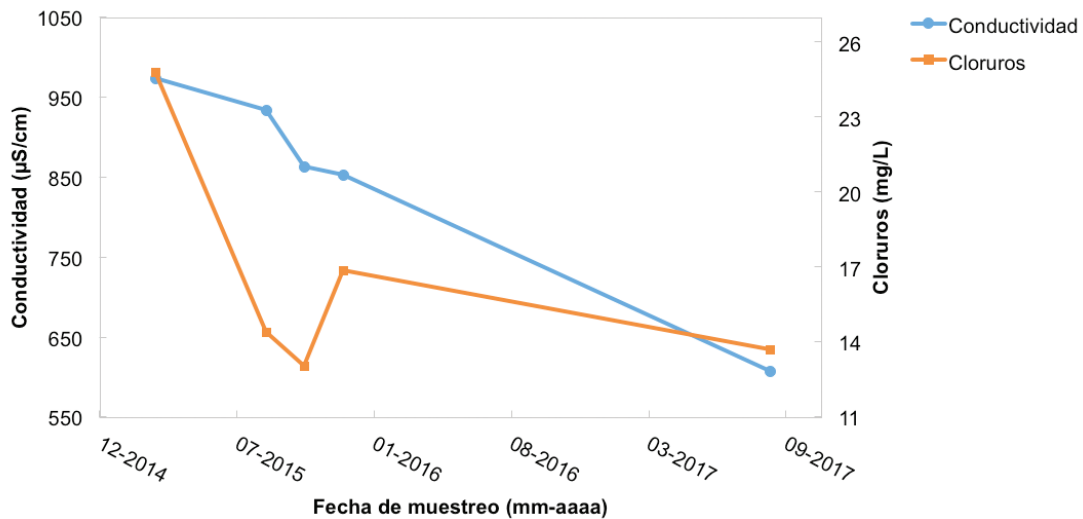
Un dato importante en relación a este pozo, es que no se ubica en una zona costera, posee una profundidad aproximada de 300 m y en ocasiones la temperatura del agua es superior a 30°C, por lo que de antemano se conoce que la intrusión de agua de mar debe quedar descartada. No obstante, la información que se genere con los resultados de los indicadores es muy valiosa para poder validarlos.

Analizando los resultados del cuadro 8, se puede observar como la mayoría de los indicadores denotan que existe contaminación, lo cual no deja estar correcto debido a la cantidad de minerales que posee el agua. Es importante destacar los resultados de la relación Na/Cl, para este caso, ya que este indicador puede ser la clave para detectar que la contaminación no es por intrusión salina, pues el valor obtenido es cercano a 1, indicando que la contaminación se debe a otros factores. Por otro lado, el indicador BEX, obtuvo un resultado positivo, lo cual indica que existe recuperación del acuífero.

### Caso 6. Pozo 7 en Santa Teresa de Cóbano

En la figura 6 se muestra la tendencia histórica del Pozo 7 en Santa Teresa de Cóbano, este pozo ha presentado conductividades desde 600 µS/cm a 1000 µS/cm y cloruros alrededor de 20 mg/L. Por el alto nivel de conductividad del agua se ha juzgado al pozo de poseer intrusión salina; sin embargo, observando la tendencia histórica se puede notar como no ha habido un aumento la concentración de los dos parámetros, sino por el contrario, una disminución de los mismos.

Para obtener los resultados de los demás indicadores se escogió el segundo muestreo, ya que en ese entonces el agua presentaba una conductividad de 974  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figura 6.** Tendencia histórica de conductividad y cloruros para el Pozo 7 en Santa Teresa de Cóbano.

**Cuadro 9.** Resultados de los indicadores para el Pozo 7 en Santa Teresa de Cóbano

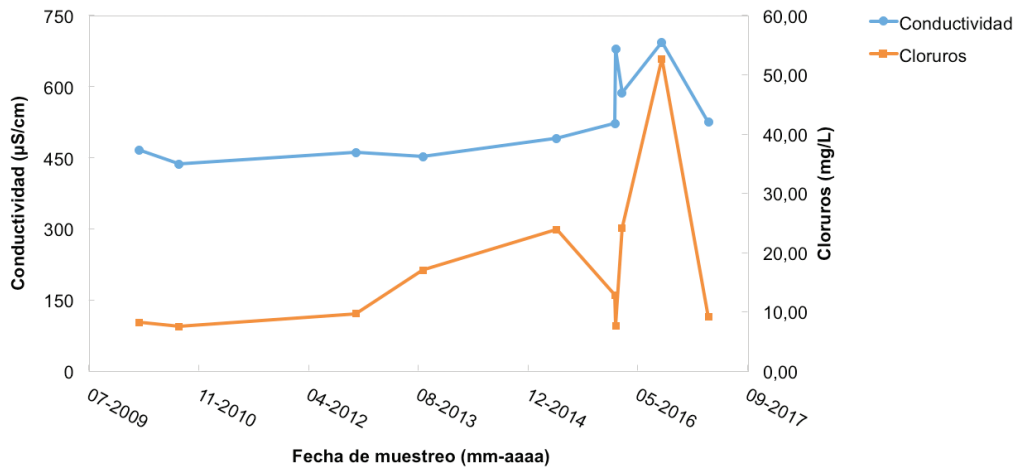
Indicador	$\frac{\text{Cl}}{\text{CO}_3+\text{HCO}_3}$	$\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$	$\frac{\text{Na}}{\text{Cl}}$	BEX (meq/L)	SDT (mg/L)
Valor	0.1	1.85	12.73	8.7	709
Observación	Agua de buena calidad	No salinizado	Contaminación de otro tipo	No intrusión salina	Agua no salobre, pero en alerta

Los resultados de los indicadores mostrados en el cuadro 9, concuerdan entre sí, indicando en general que el pozo no posee intrusión salina, pero que, sí posee otro tipo de contaminación debido al alto contenido de sodio respecto a los cloruros. Como se puede observar en el cuadro 3, el agua del pozo tiene la peculiaridad de ser muy alcalina, con alto contenido bicarbonatos, lo que genera el nivel alto de conductividad.

### Caso 7. Pozo Jobo 2 en Tamarindo

En la figura 7 se puede observar la tendencia histórica del Pozo Jobo 2 en Tamarindo, en la gráfica es notorio como del 2010 al 2015 la concentración de cloruros y el nivel de conductividad se mantuvo casi constante, posteriormente en los muestreos efectuados en el 2016 hubo un aumento en ambos parámetros, principalmente de cloruros los cuales aumentaron hasta cuatro veces, posteriormente en el 2017 los valores volvieron a disminuir. Analizando la tendencia, específicamente el pico del 2016, se podría relacionar con indicios de intrusión salina o con periodo de sequía, lo cual provoca que se concentren los iones disueltos en el agua. Por otro lado, se denota la importancia de continuar vigilando si existe algún aumento de dichos parámetros en los próximos años.





**Figura 7.** Tendencia histórica de conductividad y cloruros para el Pozo Jobo 2 en Tamarindo.

Para el análisis con los demás indicadores, se utilizó los resultados del muestreo que resultó con mayor concentración de cloruros (52.71 mg/L), esto con la finalidad de determinar si el pico de la tendencia es o no un indicio de intrusión salina. En el cuadro 11 se muestran los resultados, se puede observar como tres de los indicadores indican que el agua no posee impacto por intrusión salina. El indicador BEX, a pesar de estar negativo, su valor es casi 0, lo que podría indicar un inicio de contaminación, mientras que la relación Na/Cl no indica intrusión salina ni contaminación antropogénica.

**Cuadro 11.** Resultados de los indicadores para el Pozo 7 en Santa Teresa de Cóbano.

Indicador	Cl	Ca	Na	BEX (meq/L)	SDT (mg/L)
	CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub>	Mg	Cl		
Valor	0.4	1.17	0.40	-0.2	363
Observación	Agua de buena calidad	No salinizado	No indica intrusión salina ni contaminación antropogénica	Impacto de intrusión salina	Agua no salobre

## Conclusiones y recomendaciones

- El indicador de tendencia histórica es muy útil, sin embargo, en ocasiones no se posee información de muestreos consecutivos en un periodo de tiempo extenso, por lo que es necesario recurrir a los demás indicadores aplicables a análisis puntuales.
- La tendencia histórica es un excelente indicador para obtener una primera impresión de cómo se ha estado comportando el acuífero, mientras que los demás indicadores con resultados puntuales funcionan para corroborar lo estimado en la tendencia.
- La razón de Simpson posee la ventaja que permite determinar el grado de contaminación que posee el acuífero, aunque en ocasiones dicha contaminación puede significar agua mineralizada.
- La relación Ca/Mg identificó algunas aguas con impacto por intrusión salina.

- La relación Na/Cl es un indicador clave para discernir si la contaminación que pueden mostrar los otros indicadores, se debe a otras causas ajenas a la intrusión salina.
- Los SDT son un indicador alerta, ya que indican cuando el agua está cerca de convertirse en salobre.
- Debido a que la calidad de agua se puede ver afectada por factores como: condiciones climáticas, tiempo de contacto, permeabilidad del suelo, y recorrido en los estratos geológicos, siempre es fundamental analizar integralmente cada caso.
- Se recomienda consultar la referencia original al momento de interpretar casos de calidad de agua, con el fin de generar un criterio más profundo para cada caso; es importante considerar la diferencia entre agua salobre y agua salada.

## Referencias

- [1] F. Abdalla, «Ionic ratios as tracers to assess seawater intrusion and to identify salinity sources in Jazan coastal aquifer,» *Saudi Society for Geosciences*, pp. 9-40, 2015.
- [2] A. Scheidleder, Indicator fact sheet: saltwater intrusion, European Environment Agency: EEA, 2003.
- [3] K. Todd, Groundwater hydrology., Primera ed., New York: John Wiley & Sons, 1959.
- [4] A. Hounslow, Water quality data: analysis and interpretation, Boca Ratón: CRC Press, 1995.
- [5] M. Moujabber y et al, «Comparison of different indicators for groundwater contamination by seawater intrusion on the lebanese coast.,» *Water Resources Management*, n° 20, pp. 161-180, 2006.
- [6] J. Klassen y et al, Chemical indicators of saltwater intrusion for the Gulf Islands, British Columbia, Canadá: Ministerio de Ambiente de Columbia Británica, 2014.
- [7] R. Srinivas y G. Nageswararao, «Assessment of groundwater quality using water quality index,» *Archives of Environmental Science*, n° 7, pp. 1-5, 2013.
- [8] P. Stuyfzand, Base exchange indices as indicators of salinization or freshening of (coastal) aquifers, Florida: 20th Salt water intrusion meeting, 2008.
- [9] R. Crittenden, MHW's water treatment: principles and design, Tercera ed., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2012.
- [10] E. Custodio y M. Llamas, Hidrología subterránea, Primera ed., Barcelona: Ediciones Omega S.A., 1976.
- [11] American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ed., Washington, 2017.
- [12] Decreto Ejecutivo N° 38924-S, Reglamento para la Calidad del Agua Potable., San José: Diario Oficial La Gaceta, 2015.

# Evaluación de riesgo sanitario de las playas de Costa Rica Periodo 2010-2017

## Risk assessment of the Costa Rican beaches during the period 2010-2017

Darner A. Mora-Alvarado<sup>1</sup>, Jesús Vega-Molina<sup>2</sup>,  
Adriana González-Fernández<sup>3</sup>

---

Mora-Alvarado, D; Vega-Molina, J; González-Fernández, A.  
Evaluación de riesgo sanitario de las playas de Costa Rica.  
Periodo 2010-2017. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019.  
Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág. 97-110.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4884>



- 1 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.
- 2 Funcionario Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica.
- 3 Funcionaria Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica.

## Palabras clave

Contaminación fecal; estero; playas y riesgo.

## Resumen

Se debe realizar la evaluación de riesgo sanitario en 184 playas ubicadas en los litorales atlántico y pacífico de Costa Rica, mediante la aplicación del “Índice de Riesgo Sanitario”. Esta herramienta combina los promedios geométricos de Coliformes fecales/100 mL, obtenidos en las fuentes de contaminación terrestres (descargas de aguas residuales y desembocaduras de ríos, esteros y quebradas), y de la calidad microbiológica de los puntos de muestreo en las aguas de las playas. El propósito consiste en establecer las medidas correctivas y planificar, con la participación de la sociedad civil y los municipios, el desarrollo de las zonas costeras del país. Para cumplir con el objetivo planteado, se analizaron los datos históricos de promedios geométricos de Coliformes fecales/100 mL de 184 playas (62 en Guanacaste, 86 en Puntarenas y 36 en Limón), obtenidos por el Laboratorio Nacional de Aguas en el periodo 2010-2017, tanto para las fuentes de contaminación terrestres como para los puntos de muestreo definidos en cada playa. Con estos datos se aplicó la herramienta del “Índice de Riesgo Sanitario”, para clasificar las playas, y comparar los resultados con los niveles de riesgo “Nulo”, “Muy Bajo”, “Bajo” con las playas de calidad “Muy Alto”, “Moderadamente Alto”, y “Alto”. Los resultados de la evaluación de riesgo sanitario de las playas muestran que 16 se clasifican con riesgo “Muy Alto” (8,69%), 4 con “Alto” (2,17%), 7 con “Moderadamente Alto” (3,80%), 16 con “Bajo” (8,69%), 4 con “Muy Bajo” (22,28%) y 100 con “Nulo” (59,34%). Se demuestra que existe una importante diferencia, entre los resultados obtenidos con la evaluación de riesgo sanitario y la calidad microbiológica de las aguas de playa. Aunado a esto, se observa que 27 de las playas estudiadas (14,67%) calificaron con “Moderadamente Alto”, “Alto” y “Muy Alto”, mientras que la mayoría de las playas (157 para un 85,33%) se calificaron con riesgo “Bajo”, “Muy Bajo” y “Nulo”. Por otro lado, del total de playas estudiadas 179 (97,3%) presentaron promedios geométricos menores a 100 CF/100 mL, y 134 (72,8%) inferiores a 10 CF/100 mL. Se recomienda realizar inspecciones sanitarias y estudios más profundos en las 27 playas calificadas con riesgo “Moderadamente Alto”, “Alto” y “Muy Alto”, para definir las medidas correctivas y amortiguar la persistente contaminación fecal detectada en sus aguas.

## Keywords

Faecal pollution; estuary; beaches; sanitary risk.

## Abstract

To determine the sanitary risk assessment (ERS) of 184 beaches located in both the Pacific and Atlantic coast through the application of the Sanitary Risk Index (IRS) combining the faecal coliform bacteria geometric mean (CF/100 ml) of the inland water sources (streams, estuaries, wetlands and waste water discharges) with the microbiological quality of the sea water sampling points at the beaches. The aim is to establish corrective measures and to scheme the coast areas development. The data from 184 beaches were analysed (62 in Guanacaste, 86 in Puntarenas and 36 in Limón) in the National Water Laboratory (*Laboratorio Nacional de Aguas*, LNA) during the years 2010-2017. IRS was applied to inland water sources and sea water samples, in order to describe the risk as non-existent, Very Low, Low, Moderately High, High, and Very High. ERS classified the sanitary risk of the 184 beaches: 16 obtained Very High Risk (8.69 %), 4 High Risk (2.17 %), 7 Moderately High Risk (3.80 %), 16 Low Risk (8.69 %), 4 with Very Low Risk (22.28 %),

and 100 showed non-existent risk. Results show an important difference between the ERS and the microbiological sea water quality. Additionally, the sanitary risk of 27 beaches (14.67 %) varied from Moderately High to Very High. The majority of the beaches, 157 (85.33 %), obtained a sanitary risk from Low to non-existent. On the other hand, 179 beaches (97.3 %) showed geometric means less than or equal to 100 CF/100 ml, and 134 beaches (72.8 %) showed geometric means less than or equal to 10 CF/100 ml. To carry out sanitary surveys and deeper studies within the 27 beaches classified with Moderately High, High and Very High Risk, in order to define corrective measures, and buffer the faecal pollution.

## Introducción

La República de Costa Rica cuenta con más de 400 playas de gran belleza y alto interés turístico. Tanto el litoral atlántico como el pacífico presentan amplias planicies costeras, con pequeños sistemas montañosos de no más de 1.000 metros de altura; el primero tiene una longitud de 212 km, con clima lluvioso y exuberante vegetación típica de las zonas caribeñas; el segundo se extiende por una longitud de 1.016 km, y una gran proporción cuenta con clima seco. En las últimas décadas, la belleza de estas playas ha representado el 64% de la preferencia de los turistas que visitan el país [1]; es decir, constituyen un patrimonio turístico que ha fomentado el desarrollo de hoteles, infraestructura y servicios básicos como el acceso a agua para consumo humano (ACH), para una cobertura nacional de 99,6% de agua por cañería y 93,9% con agua de calidad potable, para el año 2017 [2].

Debido a la importancia socio-económica y a la potencial afectación a la salud de los bañistas, la calidad microbiológica de las aguas de playa ha sido estudiada desde 1961, cuando Brunker y Fernández elaboraron los primeros estudios en la playa de la ciudad de Puntarenas [3]; posteriormente, en 1971, se realizó una segunda recalificación [4]. A finales de la década de los años 70 el Laboratorio Central de AyA, hoy Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), continuó con estos estudios en la playa de Puntarenas y en el cantón central de Limón [5]. En 1986 y 1987, Mora Darner y colaboradores ampliaron los estudios a 61 puntos de muestreo en el litoral pacífico y 19 en el atlántico, con el propósito de crear "*Criterios Bacteriológicos para Evaluar las Aguas de Mar en Costa Rica*" [6]. En 1996 el LNA estableció el "*Programa Bandera Azul Ecológica*" (PBAE), cuyo objetivo original fue fomentar el desarrollo de un incentivo para organizar a la sociedad civil, con la intención de desarrollar las zonas costeras en concordancia con la protección del mar [7]; la implementación de esta iniciativa ha permitido sistematizar la educación sobre la calidad microbiológica de las aguas de playas y sus fuentes terrestres de contaminación (FTC), como ríos, esteros y descargas de aguas residuales. En el año 2005 se publicó el libro "*Calidad Sanitaria de las Aguas de las Playas en Costa Rica*", en donde se recopilaron datos históricos de la calidad microbiológica de 80 playas del país [8].

En el año 2010 el LNA propuso una metodología denominada "Índice de Riesgo Sanitario" (IRS) [9], que constituye una herramienta para evaluar la vulnerabilidad de las playas combinando dos aspectos, los resultados de promedio geométrico (Xg) de Coliformes fecales/100 mL (CF/100 mL) de las fuentes terrestres de contaminación (FTC) (drenadas a las playas por esteros, desembocaduras de ríos, quebradas y descargas de agua residuales), y del agua de cada playa en particular. Este IRS permite valorar el riesgo potencial de las playas en el país a corto, mediano y largo plazo, en el entendido de que un agua de playa podría calificar como "Apta" para la natación de acuerdo a su Xg de CF/100 mL, pero presentar un IRS "Moderadamente Alto" o "Muy Alto". Ese mismo año el LNA validó la metodología, al utilizarla para elaborar y publicar el documento "*Evaluación de Riesgo Sanitario de las Aguas de las Playas de Costa Rica, periodo 1996-2009*" [10].

En razón de que el IRS permite identificar la vulnerabilidad de las playas, y debido al riesgo de transmisión de enfermedades por contacto e ingesta de aguas de mar, desembocaduras de esteros, ríos y aguas residuales [11][12][13], se presenta esta segunda edición del documento “Evaluación de Riesgo Sanitario de las Playas de Costa Rica Periodo 2010-2017”.

## Objetivos

### General

Realizar evaluaciones de riesgo sanitario en 184 playas de Costa Rica, ubicadas en las provincias de Guanacaste, Puntarenas y Limón, mediante la aplicación del IRS durante el periodo 2010-2017, con el propósito de incluir a la sociedad civil, y los respectivos municipios, en la generación de medidas correctivas y la planificación del desarrollo costero del país.

### Específicos

- Determinar la calidad microbiológica del agua para cada playa, a través del Xg de CF/100 mL.
- Determinar la calidad microbiológica del agua de las FTC presentes en cada una de las playas, a través del Xg de CF/100 mL.
- Aplicar el IRS en las playas incluidas en el estudio.
- Comparar los resultados de la calidad microbiológica de las playas con los resultados del IRS, en las 184 playas estudiadas.
- Establecer recomendaciones para mejorar las condiciones sanitarias del entorno de las playas, y planificar el desarrollo en las zonas costeras con la participación ciudadana y municipal.

## Metodología

Para cumplir con los objetivos del estudio se aplicaron los siguientes pasos:

### *Evaluación de la calidad microbiológica de las aguas de playa*

Con los datos históricos del LNA y del PBAE se obtuvieron los Xg de CF/100 mL de los puntos de muestreo, ubicados en las aguas de mar de cada una de las 184 playas estudiadas; de estos, un total de 62 están localizados en Guanacaste, 86 en Puntarenas y 36 en Limón. La calidad microbiológica del agua se obtiene comparando los resultados obtenidos con los “Criterios Microbiológicos para Evaluar las Aguas de Mar para la Natación”, que se presentan en el cuadro 1.

### **Evaluación de la calidad microbiológica de las FTC para cada playa**

La evaluación microbiológica de las FTC sobre las playas, se realizó mediante la determinación de CF/100 mL en las aguas de las desembocaduras de los ríos, quebradas, esteros y descargas de aguas residuales; a dichos datos se les aplicó el cuadro 2, la cual forma parte del IRS.

Los análisis de CF/100 mL en las aguas de mar y las FTC se realizaron siguiendo los procedimientos de los Métodos Estándar [14].

**Cuadro 1.** Criterios Microbiológicos para Evaluar las Aguas de Mar para Natación y el Aporte al Índice de Riesgo Sanitario

Promedio geométrico de CF/100 mL	Calidad	Clase	Código de colores	Aporte al IRS
≤10	Excelente	AA	Azul	50
>10-100	Buena	A	Verde	40
>100-240	Regular	B	Amarilla	30
>240-500	Mala	C	Naranja	20
>500-1000	Muy mala	D	Café	10
>1000	Pésima	E	Rojo	0

FUENTE: LNA, modificado por Mora, D.

**Cuadro 2.** Aportes de Índice de Riesgo Sanitario de las Fuentes Terrestres de Contaminación sobre las Playas de Costa Rica

Número de descargas de aguas residuales y desembocaduras de ríos, quebradas y esteros	Promedio geométrico de CF/100 mL	Puntaje obtenido en el IRS
0	0	50
1	≤1000	45
1 (Menor a 25 m de ancho)	>1000-5000	40
1* o 2 o más	>1000-5000	30
1 (Menor a 25 m de ancho)	>5000-10000	20
1*, 2 o más	>5000-10000	10
1 o más	>10000	0

Nota. \*Si el río, quebrada o estero tiene un ancho de 25 metros, el promedio geométrico y puntaje que le corresponde es el siguiente más alto.

FUENTE: IRS del LNA.

### Evaluación del riesgo sanitario de cada playa

La evaluación de riesgo sanitario se realizó con la clasificación que se presenta en el cuadro 3, combinando los datos aportados por los cuadros 1 y 2.

### Comparación de la calidad microbiológica en la evaluación de riesgo sanitario de las playas

Con el propósito de observar la diferencia entre los resultados de la calidad microbiológica del agua y la evaluación de riesgo sanitario de las 184 playas, se seleccionaron las playas que clasificaron con IRS “Muy Alto”, “Alto” y “Moderadamente Alto”, y se compararon con la calidad microbiológica de las playas de acuerdo al Xg de CF/100 mL obtenido en cada playa respectiva, que las clasificaron como “Muy Mala”, “Mala” y “Regular”.

### Elaboración de recomendaciones

En términos generales, se proponen recomendaciones para tomar medidas correctivas y planificar el desarrollo de las respectivas zonas costeras, con la participación activa de la sociedad civil y de los respectivos municipios.

**Cuadro 3.** Índice para Evaluar el Riesgo Sanitario en las Playas de Costa Rica.

Puntaje obtenido en la sumatoria de variables de las fuentes de contaminación y las aguas de playa	Riesgo sanitario	Código de colores
0-50	Muy Alto	Rojo
>5-60	Alto	Café
>60-70	Moderadamente Alto	Naranja
>70-80	Bajo	Amarillo
>80-90	Muy Bajo	Verde
>90-100	Nulo	Azul

FUENTE: IRS del LNA

### Limitaciones del estudio

Para identificar las FTC en el entorno de cada playa se realizó una inspección sanitaria; no obstante, podrían existir descargas de aguas residuales de ríos, quebradas o esteros que hayan pasado inadvertidas para los funcionarios del LNA (por ejemplo, al presentar una condición estacional), y por lo tanto no se toman en cuenta en la evaluación de riesgo sanitario.

Por otro lado, existen hoteles que descargan sus aguas residuales al mar en horas de la noche, mientras que el LNA realiza los muestreos e inspecciones en horas del día, lo que dificulta su identificación y evaluación.

### Resultados

Para efectos prácticos, y debido a la gran cantidad de playas estudiadas en el periodo de evaluación del presente estudio, los resultados se presentan por provincia y a nivel nacional mediante tablas, incluyendo datos como:

- El Xg de CF/100 mL del agua de mar.
- Aporte porcentual del IRS de las aguas de mar.
- El Xg de CF/100 mL de las FTC presentes en cada playa.
- Aporte porcentual del IRS de las FTC presentes en cada playa.
- Porcentaje total del IRS de las aguas de cada playa.
- Ámbito obtenido en cada playa.
- Clasificación de clase de cada playa.
- Calidad del agua para cada playa.
- IRS del agua de cada playa.
- Codificación por colores.

Por otra parte, se presentan cuatro tablas que resumen los resultados de la evaluación con el IRS para cada una de las playas, de acuerdo a las respectivas provincias y para la totalidad del país.



## Evaluación del riesgo sanitario de las playas de Guanacaste

En el cuadro 4 se presentan los resultados de la evaluación del riesgo sanitario de las 62 playas de Guanacaste, aplicando el IRS.

**Cuadro 4.** Evaluación del Riesgo Sanitario de 62 Playas de la Provincia de Guanacaste: 2010-2017

#	Playa	X Geo A Mar	IRS Mar	X Geo FTC	IRS FTC	IRS Playa	Ambito	Clase	Calidad	IRS Agua	Codigo
1	Hermosa de Carrillo	10	40	12528	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
2	Coco sector Sur	10	40	21610	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
3	Tamarindo Norte	9	50	47476	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
4	Brasilito	10	40	5356	20	60	>50-60	E	Mala	Alto	Café
5	Potrero 2	6	50	7045	20	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente alto	Naranja
6	Tamarindo Sur	9	50	9436	20	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente alto	Naranja
7	Samara Sur	14	40	2400	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
8	Nosara	16	40	2429	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
9	Puerto Carrillo	13	40	968	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
10	Potrero 1	9	50	3138	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
11	Camaronal	7	50	1400	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
12	Corazalito	4	50	1341	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
13	Samara	8	50	1327	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
14	Ostional	8	50	1625	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
15	Panama	5	50	240	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
16	Arenilla	4	50	430	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
17	Monte del Barco	5	50	930	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
18	Mata Palo de Carrillo	8	50	472	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
19	Manzanillo (Liberia)	7	50	308	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
20	Jobo	4	50	57	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
21	Morro	9	50	40	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
22	Nacascolo	3	50	750	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
23	Flamingo	6	50	100	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
24	Conchal	5	50	125	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
25	Ventana	5	50	905	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
26	Punta El Madero	5	50	108	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
27	Ávellana	9	50	59	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
28	Junquillal	5	50	204	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
29	San Miguel de Bejuco	4	50	107	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
30	Caletas	2	50	43	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
31	Puerto Coyote	5	50	514	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
32	Coyote	5	50	117	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
33	Punta Islita	5	50	760	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
34	Venado	2	50	97	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
35	Buenas Vista Samara	5	50	37	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
36	Garza	6	50	759	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
37	Cocos de Marbella	3	50	457	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
38	Ocotal	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
39	Azul de Carrillo	3	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
40	Coco sector norte	6	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
41	Buena	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
42	Guacamaya	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
43	Zapotal	6	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
44	Bahía Junquillal	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
45	Manzanillo La Cruz	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
46	Rajada	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
47	Bolaños (Coyotera)	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
48	Copal	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
49	Penca	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
50	Pan de Azucar	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
51	Dantas	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
52	Danticas	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
53	Grande	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
54	Langosta	3	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
55	Mansita	3	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
56	Bonita	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
57	Coyote Costa de Oro	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
58	Pelada de Nosara	7	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
59	Guioners de Nosara	6	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
60	Frijolar	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
61	Azul de Santa Cruz	3	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
62	San Juanillo	2	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul

El cuadro 5 resume la evaluación de las 62 playas de Guanacaste, según su clasificación de acuerdo al IRS.

**Cuadro 5.** Resumen de los Resultados de la Evaluación de Riesgo Sanitario de las Playas de Guanacaste 2010-2017

Riesgo Sanitario	Puntaje obtenido	Código de colores	Número de playas	%
Muy alto	0-50	Rojo	3	4,85
Alto	>50-60	Café	1	1,61
Moderadamente Alto	>60-70	Naranja	2	3,22
Bajo	>70-80	Amarillo	2	3,22
Muy bajo	>80-90	Verde	6	9,69
Nulo	>90-100	Azul	48	77,41
Total			62	100

FUENTE: Elaborado por los autores.

### Evaluación del riesgo sanitario de las playas de Puntarenas

El cuadro 7 presenta los resultados de la evaluación del riesgo sanitario de las 86 playas estudiadas en la provincia de Puntarenas, de acuerdo al IRS.

En el cuadro 6 se resume la distribución de las 86 playas estudiadas en Puntarenas, según el IRS obtenido.

**Cuadro 6.** Resumen de los Resultados de la Evaluación de Riesgo Sanitario de las Playas de Puntarenas 2010-2017

Riesgo Sanitario	Puntaje obtenido	Código de colores	Número de playas	%
Muy alto	0-50	Rojo	7	8,13
Alto	>50-60	Café	2	2,33
Moderadamente Alto	>60-70	Naranja	3	3,49
Bajo	>70-80	Amarillo	14	16,30
Muy bajo	>80-90	Verde	21	24,40
Nulo	>90-100	Azul	39	45,35
Total			86	100

FUENTE: elaborado por los autores.

### Evaluación del riesgo sanitario de las playas de Limón

El cuadro 8 presenta la evaluación del riesgo sanitario de las 36 playas del litoral Caribe de la Provincia de Limón, de acuerdo al IRS.

**Cuadro 7.** Evaluación del Riesgo Sanitario de 86 Playas de la Provincia de Puntarenas 2010-2017

#	Playa	X Geo A Mar	IRS Mar	X Geo FTC	IRS FTC	IRS Playa	Ambito	Clase	Calidad	IRS Agua	Codigo
1	Golfito	1384	0	75595	0	0	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
2	Quepos	18	40	55767	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
3	Jaco	13	40	47343	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
4	Herradura Sur	18	40	24607	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
5	Tarcoles	24	40	12160	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
6	Mantas	9	50	8661	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
7	Montezuma	8	50	102995	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
8	Esterillos Centro	17	40	6541	20	60	>50-60	E	Mala	Alto	Café
9	Espadilla Norte	15	40	8952	20	60	>50-60	E	Mala	Alto	Café
10	Juanito Mora (Jimenez)	351	20	0	50	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente alto	Naranja
11	Puntarenas	13	40	1060	30	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente alto	Naranja
12	Roble	20	40	1258	30	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente alto	Naranja
13	La Macha (Tulemar)	11	40	1153	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
14	Para	15	40	1568	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
15	Herradura Norte	43	40	3022	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
16	Hacienda Vieja ( Isla San Lucas)	240	30	0	50	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
17	Agujas	20	40	4981	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
18	Esterillos Oeste	19	40	1410	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
19	Pochote	22	40	1457	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
20	Mata Palo	15	40	4300	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
21	Dominicalito	35	40	4437	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
22	Dominicalito ( Rocas de Amanci)	166	30	0	50	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
23	Punta Uvita	11	40	1402	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
24	Pavones 1	13	40	1951	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
25	Pavones 2	57	40	1018	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
26	Puerto Jimenez	12	40	3551	40	80	>70-80	C	Buena	Bajo	Amarillo
27	Bejuco	11	40	94	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
28	Esterillos Este	11	40	269	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
29	Isla Palo Seco	14	40	911	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
30	La Palma	11	40	791	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
31	Curu	13	40	336	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
32	Tambor	16	40	431	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
33	Dominical	14	40	547	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
34	Hermosa Osa	12	40	812	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
35	Tortuga	10	40	828	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
36	Blanca Jimenez	10	40	512	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
37	Colorado de Drake	13	40	665	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
38	Playitas	4	50	4300	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
39	Pita	14	40	0	50	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
40	Limoncito	3	50	1140	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
41	Doña Ana	11	40	0	50	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
42	Blanca de Paquera	16	40	0	50	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
43	Albina	13	40	0	50	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
44	Quizales	4	50	1630	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
45	Manzanillo Cobano	4	50	1015	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
46	Cacao	75	40	0	50	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
47	Madrigal	3	50	1037	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
48	Hermosa	5	50	656	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
49	Pogeres	6	50	9	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
50	Blanca	4	50	554	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
51	Azul Garabito	5	50	52	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
52	Caldera	8	50	855	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
53	Isla Tortuga	3	50	268	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
54	Organos	9	50	344	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
55	Pajaros	4	50	7	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
56	Mal País	9	50	918	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
57	Chathan	5	50	23	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
58	Wafer	5	50	435	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
59	Colonia	9	50	726	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
60	Ballena 1	6	50	160	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
61	Ballena 2	5	50	245	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
62	Piñuela	9	50	380	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
63	Arcos	8	50	586	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
64	Ventanas	4	50	634	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
65	San Pedrillo	5	50	246	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
66	Zancudo	7	50	696	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
67	Platanares	4	50	409	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
68	Carate	6	50	669	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
69	Nicuesa	6	50	434	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
70	Cativo	5	50	906	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
71	Gemelas	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
72	Pto. Escondido	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
73	Espadilla Sur	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
74	Manuel Antonio	6	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
75	Bochinche	9	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
76	Leona de Paquera	6	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
77	Margarita	2	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
78	Tropical	2	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
79	Quecera	3	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
80	Hermosa Cobano	6	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
81	Santa Teresa	7	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
82	El Carmen	5	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
83	Linda de Savegre	3	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
84	Barú	8	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
85	Azul Golfito	6	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
86	Garza de Osa	1	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul

**Cuadro 8.** Evaluación del Riesgo Sanitario de 36 Playas de la Provincia de Limón: 2010-2017

#	Playa	X Geo A Mar	IRS Mar	X Geo FTC	IRS FTC	IRS Playa	Ambito	Clase	Calidad	IRS Agua	Codigo
1	Portete	46	40	23463	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
2	Limon ( Bañeario Municipal)	688	40	1106207	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
3	Cieneguita	9	50	22697	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
4	Cocles Sur	6	50	21849	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
5	Puerto Viejo	6	50	35658	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
6	Puerto Viejo Salsa Brava	5	50	10158	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
7	Limon Centro	22	40	8133	20	60	>50-60	E	Mala	Alto	Café
8	Bonita	8	50	6757	20	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente alto	Naranja
9	Negra de Puerto Viejo 2	7	50	6736	20	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente alto	Naranja
10	San Francisco	11	40	187	45	85	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
11	Barra de Tortuguero	5	50	1056	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
12	Barra de Matina	5	50	4743	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
13	Laguna Urtiano Sur 1	5	50	2068	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
14	Laguna Urpiano Sur 2	3	50	1493	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
15	Pacuare Sur	10	40	0	50	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
16	Moin	3	50	1099	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
17	Piuta	20	40	0	50	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
18	Isla Uvita (Quiribri)	17	40	0	50	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
19	Punta Uva	6	50	1960	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
20	Blanca de Cahuita	7	50	2187	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
21	Negra Cahuita 1	4	50	2867	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
22	Negra Cahuita 2	5	50	1612	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
23	Negra de Puerto Viejo 1	5	50	1115	40	90	>80-90	B	Muy buena	Muy bajo	Verde
24	Barra de Colorado Sur	6	50	72	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
25	Pacuare Norte	5	50	713	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
26	Mondonguillo	5	50	15	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
27	Grande Parque Nacional Cahuita	7	50	245	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
28	Manzanillo Limón	9	50	309	45	95	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
29	Barra de Parismina	3	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
30	Moin Norte	8	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
31	Westfalia	6	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
32	Chiquita	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
33	Cocles	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
34	Puerto Vargas	6	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
35	Net Creek	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul
36	Gandoca	4	50	0	50	100	>90	A	Excelente	Nulo	Azul

El cuadro 9 resume los resultados obtenidos en las playas de la provincia de Limón, según la evaluación con el IRS.

**Cuadro 9.** Resumen de los Resultados de la Evaluación de Riesgo Sanitario de las Playas de Limón 2010-2017

Riesgo Sanitario	Puntaje obtenido	Código de colores	Número de playas	%
Muy alto	0-50	Rojo	6	16,7
Alto	>50-60	Café	1	2,8
Moderadamente Alto	>60-70	Naranja	2	5,5
Bajo	>70-80	Amarillo	0	0,0
Muy bajo	>80-90	Verde	14	38,9
Nulo	>90-100	Azul	13	36,1
Total			36	100

FUENTE: elaborado por los autores.

## Comparación entre resultados de la calidad microbiológica de las aguas de playa y la evaluación del riesgo sanitario

Para efectos prácticos y comparativos se presenta el cuadro 10, que compara la calidad microbiológica de las aguas de playa y los resultados obtenidos con el IRS. Se seleccionaron las playas que clasificaron con IRS “Muy Alto”, “Alto” y “Moderadamente Alto”, y se compararon con la calidad microbiológica de las playas de acuerdo al Xg de CF/100 mL obtenido en cada playa respectiva, que las clasificaron como “Muy Mala”, “Mala” y “Regular”.

**Cuadro 10.** Playas con Clasificación de Riesgo Sanitario: “Muy Alto”, “Alto” y “Moderadamente Alto” en Costa Rica: 2010 a 2017

<b>Puntarenas</b>											
#	Playa	X Geo A Mar	IRS Mar	X Geo FTC	IRS FTC	IRS Playa	Ambito	Clase	Calidad	IRS Agua	Codigo
1	Golfito	1384	0	75595	0	0	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
2	Quepos	18	40	55767	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
3	Jaco	13	40	47343	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
4	Herradura Sur	18	40	24607	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
5	Tarcoles	24	40	12160	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
6	Mantas	9	50	8661	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
7	Montezuma	8	50	102995	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
8	Esterillos Centro	17	40	6541	20	60	>50-60	E	Mala	Alto	Café
9	Espadilla Norte	15	40	8952	20	60	>50-60	E	Mala	Alto	Café
10	Juanito Mora (Jiménez)	351	20	0	50	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente Alto	Naranja
11	Puntarenas	13	40	1060	30	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente Alto	Naranja
12	El Roble	20	40	1258	30	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente Alto	Naranja
<b>Guanacaste</b>											
10	Hermosa de Carrillo	10	40	12528	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
11	Coco sector Sur	10	40	21610	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
12	Tamarindo Norte	9	50	47476	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
13	Brasilito	10	40	5356	20	60	>50-60	E	Mala	Alto	Café
14	Potrero 2	6	50	7045	20	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente Alto	Naranja
15	Tamarindo Sur	9	50	9436	20	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente Alto	Naranja
<b>Limón</b>											
14	Portete	46	40	23463	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
15	Limon ( Balneario Municipal)	688	40	1106207	0	40	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
16	Cieneguita	9	50	22697	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
17	Cocles Sur	6	50	21849	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
18	Puerto Viejo	6	50	35658	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
19	Puerto Viejo Salsa Brava	5	50	10158	0	50	0-50	F	Muy mala	Muy alto	Rojo
20	Limon Centro	22	40	8133	20	60	>50-60	E	Mala	Alto	Café
21	Bonita	8	50	6757	20	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente Alto	Naranja
22	Negra de Puerto Viejo 2	7	50	6736	20	70	>60-70	D	Regular	Moderadamente Alto	Naranja

El cuadro 10 resume los resultados obtenidos en la totalidad de las playas de Costa Rica evaluadas, según el IRS.

## Análisis de resultados

Las evaluaciones del riesgo sanitario de las 184 playas estudiadas en Costa Rica, en las provincias costeras de Guanacaste, Puntarenas y Limón, indican que:

- De las 62 playas estudiadas en Guanacaste 3 calificaron con riesgo “Muy Alto”, 1 con “Alto”, 2 con “Moderadamente Alto”, 2 con “Bajo”, 6 con “Muy Bajo” y 48 con “Nulo”.
- De las 86 playas estudiadas en Puntarenas 7 se clasificaron con riesgo “Muy Alto”, 2 con “Alto”, 3 con “Moderadamente Alto”, 14 con “Bajo”, 21 con “Muy Bajo” y 39 con “Nulo”.

- De las 36 playas evaluadas en el Caribe limonense 6 calificaron con riesgo “Muy Alto”, 1 con “Alto”, 2 con “Moderadamente Alto”, 0 con “Bajo”, 14 con “Muy Bajo” y 13 con “Nulo”.
- De las 184 playas estudiadas 16 calificaron con riesgo “Muy Alto” para 8,69%, 4 con “Alto” para 2,17%, 7 con “Moderadamente Alto” para 3,80%, 16 con “Bajo” para 8,69%, 41 con “Bajo” para 22,30%, y 100 con “Nulo” para 54,4%.
- Como se observa, 27 de las 184 playas evaluadas calificaron con riesgo “Moderadamente Alto”, “Alto” y “Muy Alto”, para un 15,19%.
- De las 184 playas estudiadas el 8,69% calificaron como riesgo “Bajo”, 22,30% con “Muy Bajo” y 54,4 con “Nulo”, para un 84,81% del total.
- La provincia de Guanacaste cuenta con un total de 77,44% de playas con riesgo “Nulo”, y solamente el 4,84% presentan riesgo “Muy Alto”.
- En la provincia de Puntarenas, con 86 playas estudiadas, 45,35% calificaron con riesgo “Nulo” y 8,13% con riesgo “Muy Alto”.
- En la provincia de Limón, de las 36 playas estudiadas, el 36,10% obtuvieron calificación de riesgo “Nulo” y el 16,7% de riesgo “Muy Alto”.
- A nivel de país, de las 184 playas estudiadas 100 se calificaron con riesgo “Nulo” para 54,4%, y 16 con de riesgo “Muy Alto” para 8,63%.
- Por otro lado, si se analizan solo los datos de Xg de CF/100 mL, se observa que:
  - En Guanacaste solamente 3 playas presentaron calificación de Xg superior a 10 CF/100 mL para un 4,8%; es decir, el 95,2% de las playas presentaron datos menores a este valor, lo cual indica una excelencia en la calidad sanitaria de sus aguas.
  - En Puntarenas de las 86 playas estudiadas 46 presentaron Xg de CF/100 mL menor o igual a 10 CF/100 mL, para un 53,49%. En tres zonas, ubicadas en el mar de Golfito, el Xg de CF/100 mL fue de 1.384/100 mL; en Juanito Mora de Jiménez, la playa obtuvo 351 CF/100 mL, y en Hacienda Vieja (San Lucas) se obtuvieron 240 CF/100 mL; estos datos indican que el 3,49% de las playas de Puntarenas no son aptas para la natación. También, aunque la playa de Dominicalito alcanzó un Xg de CF/100 mL de 166, todavía es apta para la natación. En resumen, el 95,34% de las playas de esta provincia obtuvieron menos de 100 CF/100 mL.
  - En el caso de Limón, de las 36 playas estudiadas 29 presentaron Xg de CF/100 mL menor o igual a 10 CF/100 mL, para un 80,55%. Además, 5 playas presentaron Xg de CF/100 mL entre 11 y 20 CF/100 mL (16,7%); es decir, la sumatoria indica que el 97,25% tienen Xg CF/100 mL menor o igual a 20.
  - En el caso de la playa del Balneario Municipal de Limón, su Xg de CF/100 mL es de 688, que lo califica como una de las playas más contaminadas del país.
  - A nivel nacional, de las 184 playas estudiadas 134 obtuvieron un Xg menor o igual a 10 CF/100 mL para un 72,8%, lo cual indica que son playas de excelente calidad sanitaria (tipo AA). Lógicamente, estos resultados contrastan con el 14,67% de las playas (27) que obtuvieron una evaluación de riesgo sanitario de “Moderadamente Alto”, “Alto” y “Muy Alto”.

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

El análisis de los resultados nos permite hacer las siguientes conclusiones:

- De las 184 playas estudiadas en el periodo 2010-2017, 157 (85,39%) calificaron con riesgo “Bajo”, “Muy Bajo” y “Nulo”.
- Solamente el 14,67% (27 playas) calificaron con riesgo “Moderadamente Alto”, “Alto” y “Muy Alto”.
- Lógicamente, las playas con mayor riesgo son aquellas con FTC como desembocaduras de ríos, esteros y descargas de alcantarillado o aguas residuales.
- Con la evaluación de la calidad microbiológica, 134 (72,82%) presentan leves contaminaciones con CF/100 mL, menores o iguales a 10 CF/100 mL; es decir, el 72,8% de las playas de Costa Rica califican como tipo AA o de excelente calidad sanitaria. Además, solo 4 playas sobrepasaron los 240 CF/100 mL, calificándolas como no aptas para la natación; dichas playas fueron la zona marítima de Golfito, Juanito Mora en Puerto Jiménez, Hacienda Vieja en Isla San Lucas y Balneario Municipal de Limón.
- De las 184 playas estudiadas 5 obtuvieron Xg de CF/100 mL superiores a 100 CF/100 mL, (2,7%); es decir, al menos el 97% de nuestras playas presentan valores inferiores a 100 CF/100 mL.
- En la mayoría de las playas que presentaron más de 5.000 CF/100 mL en sus FTC, se reportaron valores superiores a 10 CF/100 mL en las aguas de playa.

### Recomendaciones

La evaluación de riesgo sanitario implementado por el Laboratorio Nacional de Aguas en el 2009, ha permitido discernir entre el nivel de contaminación fecal de las aguas de playa y el riesgo potencial de esas mismas playas ocasionado por las FTC que drenan en sus aguas. En razón de esto, es recomendable profundizar y afinar el modelo de evaluación de riesgo sanitario en nuestras playas, en busca de su protección para el disfrute de las actuales y nuevas generaciones.

Con el propósito de profundizar en los estudios sanitarios de las aguas de playa, es necesario abordar otros tipos de indicadores microbiológicos como virus, bacteroides y otras bacterias vinculadas con enfermedades transmitidas por ingesta o contacto con el agua marina [15] [16] [17] [18].

### Referencias

- [1] Instituto Costarricense de Turismo. *Plan Nacional de Desarrollo Turismo Sostenible 2002-2012*. San José. Costa Rica. ICT; 2002: sp.
- [2] Darner A. Mora, Carlos F. Portuquez. *Agua Potable y Saneamiento: cobertura en Viviendas y más allá del Hogar al 2017*. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2018: 1-26.
- [3] Brunker Tilmár. *Estudio de la Calidad Sanitaria de las aguas del balneario de Puntarenas*. Tesis de grado, San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica; Departamento de Microbiología; 1963: sp.
- [4] Fernández B, Brunker T, González C. *Calidad Sanitaria de las Aguas de la Playa de Puntarenas*. II recalificación. Acta Médica Costarricense 14 (2); 1971: 91-100.

- [5] Mora Darner; et al. *Calidad Sanitaria de las Aguas de las Playas de Limón, periodo 1981-1984*. Revista Tecnológica en Marcha. ITCR. Vol. 8 (2-3); 1987: 15-22.
- [6] Mora D, et al. *Criterios bacteriológicos y calidad sanitaria de las aguas de las Playas de Costa Rica 1986-1987*. Revista Tecnología en Marcha, ITCR 9 (3); 1989: 45-49.
- [7] Mora D, Fonseca R, Vega J, Murillo J. *Programa Bandera Azul Ecológica: antecedentes, presente y futuro*. Tres Ríos. La Unión; segunda edición (Revista del PBAE); 2003: sp.
- [8] Darner A. Mora. *Calidad Sanitaria de las aguas de playa de Costa Rica*. San José, Costa Rica. Editorial. Campo Directo. K.C. S.A; 2007; 1-110.
- [9] Darner a. Mora, Carlos Portuguez, Jesús Vega. Índice de Evaluación de Riesgo Sanitario de las playas de Costa Rica. Tres Ríos, La Unión. Laboratorio Nacional de Aguas; 2010: 1-7.
- [10] Darner A. Mora. *Evaluación del Riesgo Sanitario de las Playas de Costa Rica: 1996-2009*. La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas; 2010; sp.
- [11] Gauter, M.J. *Poblaciones bacterianas en el medio marino*. Madrid. Ediciones Omega S.A; 1980: 1- 120.
- [12] Organización Mundial de la Salud. *Guidelines for safe recreational water environments*. OMS, Geneva. Vol 1. Coastal and frish water; 2003.
- [13] Rosario, K., et al. *Pepper mild motle viruses as an indicator of fecal pollution*. Appli. Enviroment Microbiol; 2009: 7161-7267.
- [14] American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23° ed.). Washington, EEUU: American Public Health Association.
- [15] Arnold, B.F, et al. *Acute gastroenteric and recreational highest burden among young*. US. Children. Am. J. Public Heath, 106 (9); 2016: 1680-1697.
- [16] Surger, V., Hass, C.N. *Quantitative microbial risk assessment for recreational exposere to water bodies in Philadelphic*. Water Environ. Rso 87(3); 2015: 211-223.
- [17] Timothy J. Wade, et al. *Asymptomatic norovirus infection associated with swimming at a tropical beach: A prospective cohort study*. P/ODS ONE/<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195056>; Mouch, 2018: 1-14.
- [18] Warish Ahmed, et al. *Quantitative microbial risk assessment of microbial source tracking marken in recreational water contaminated with fresh intreated and secondary*. Environment International 117; (2018): 243-249.



# Estimación de la calidad del agua para consumo humano en centros de salud de Costa Rica al 2017

## Drinking-water quality estimation in health centres in Costa Rica 2017

Darner A. Mora-Alvarado<sup>1</sup>, Pablo C. Rivera-Navarro<sup>2</sup>

---

Mora-Alvarado, D; Rivera-Navarro, P. Evaluación de riesgo sanitario de las playas de Costa Rica. Periodo 2010-2017. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág. 111-126.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4885>



- 1 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.
- 2 Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: privera@aya.go.cr.

## Resumen

Se presenta la primera estimación de la línea base de la cobertura y calidad del agua utilizada en los centros de salud en Costa Rica al año 2017, con el propósito de cumplir con los lineamientos, de establecer las metas en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización Mundial de la Salud al 2030. Dichos datos se obtuvieron del Laboratorio Nacional de Aguas, mediante su programa de vigilancia y control de la calidad del agua en sus diferentes usos. Con base en el análisis de estos resultados, se estimó que el 97% de los centros de salud son abastecidos con agua de calidad potable o apta para el consumo humano, y de un 87,5% en las aguas intrahospitalarias. Esto permite definir, de acuerdo a la “Escalera para el Agua Potable”, que el 97% se calificó como “servicio avanzado”, 3% como “servicio básico”, 0% como “servicio limitado” y 0% “sin servicio”. No obstante, en el agua al interior de los hospitales, la aplicación de la “Escalera del agua Potable” se clasifica con un 87,5% como “Servicio mejorado”, un 12,5% como “Servicio básico”, 0% como “servicio limitado” y 0% “sin servicio”. Las metas de cobertura con agua de calidad potable propuestas para los años 2022 y 2030 son de 99% y 100%, respectivamente, para las aguas de entrada a los nosocomios y de 95% y de 100% al interior de los hospitales respectivamente, según el Decreto Ejecutivo 37087-S.

## Abstract

This study pretends to estimate drinking-water coverage, supplied in Costa Rica's healthcare centers in 2017. The main objective is to establish the baseline data that allow proposing goals for the years 2022 and 2030 within of the Sustainable Development Goal 6: Clean Water and Sanitation. To comply with it, the following methodology was applied: first, it was described the organization of social security healthcare centers. Second, drinking-water at healthcare centers was evaluated through costa rican regulation, wich establishes microbiological parameters as fecal coliforms, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa and Heterotrophic Plate Count. Then, “Ladder for drinking-water” (Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene, OMS/ UNICEF) was applied, based on water quality data for 2017 at the supply source water and supply network. The results of microbiological and residual chlorine analysis shows that 97% of supply source water in healthcare centers and 87.5 % of the supply network are provided with potable water. This results allows to define that 97 % is qualified as “advanced service”, 3 % as “basic service”, 0 % as “limited service” and 0 % “ without service, according to the “Ladder for drinking-water” However, inside hospitals, the results shows that 87.5% is qualified as “advanced service”, and 12.5% as “basic service”. 0% of supply network was qualified as “limited service” and “no service”.

## Introducción

En el transcurso de los últimos 25 años la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), mediante el Programa Conjunto de Monitoreo (PCM) [1], han concentrado esfuerzos en el monitoreo del acceso a agua y saneamiento e higiene en los hogares; sin embargo, es de todos conocido que la mayoría de las personas suelen pasar muchas horas fuera de las viviendas [2]. En razón de esto, los mencionados organismos internacionales han fomentado la vigilancia de la calidad del agua para consumo (ACH) y saneamiento en establecimientos “más allá del hogar”, principalmente en centros educativos y centros de salud [3].

En Costa Rica, el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) impulsó el “Reglamento para la Calidad del Agua de Consumo Humano en Establecimientos de Salud” [4], basado en el documento titulado “Estudio sobre la Calidad del Agua para Consumo Humano Intrahospitalaria y sus

*Derivados en Costa Rica en 1999* [5], desarrollado como estudio de tesis para optar por la Maestría en Salud Pública del Dr. Darner A. Mora. Uno de los objetivos de este estudio consistió en ampliar los criterios microbiológicos, que permitieran evaluar la calidad del ACH en los hospitales. En resumen, se pretendía que además de los criterios bacteriológicos de Coliformes fecales (CF/100 mL), los cuales evalúan el riesgo de transmisión de enfermedades nosocomiales de origen intestinal, se utilizaran otros grupos de bacterias que permiten evaluar el riesgo de transmisión de enfermedades por contacto con el agua contaminada, como *Pseudomonas aeruginosa*. El mencionado reglamento se aprobó mediante el Decreto Ejecutivo N°37083-S del 2012 [6].

Fundamentados en estos antecedentes, a partir del año 2013 el LNA incorporó en su *“Programa de Vigilancia y Control de Calidad del Agua para Consumo Humano”* [7], muestreos para análisis microbiológicos y cloro residual en las aguas de entrada a los principales hospitales del país. No obstante, a partir del año 2008 incluyó la categoría *“Centros de Salud”* en el Programa Sello de Calidad Sanitaria (PSCS) [8], con el propósito de incentivar el control de calidad del ACH intrahospitalaria por parte de los propios nosocomios. Posteriormente, se creó la categoría *“Salud Comunitaria”* del Programa Bandera Azul Ecológica [9], mediante el Decreto Ejecutivo N°36481 del 17 de marzo de 2011 [10]; el objetivo con esta nueva categoría, fue incorporar a las áreas de salud en acciones preventivas de salud pública, en sus respectivas jurisdicciones.

Aunado a esto, en el año 2016 la OMS y UNICEF, elaboraron el concepto *“Agua Potable Gestionada en Forma Segura”*, para atender las metas de agua potable del *“Objetivo 6”* sobre *“Agua Limpia y Saneamiento”* [11] de los *“Objetivos de Desarrollo Sostenible”* [12]. En este documento se ratifica la necesidad del monitoreo en los servicios de ACH en centros educativos y de salud.

A la luz de estos nuevos retos, se presenta el siguiente estudio descriptivo-retrospectivo, con la intención de conocer la línea base de calidad del agua en los centros de salud del país y las metas a conseguir en el año 2030.

## Metodología

Para cumplir con los objetivos de este estudio se aplicaron los siguientes pasos:

### Descripción de la estructura de los centros de salud en Costa Rica

La identificación y descripción de los centros de salud, se realizó con el análisis de la información de la CCSS y del MS [13][14].

### Estimación de la calidad del agua en centros de salud

La estimación de la calidad del agua suministrada a los centros de salud, se realizó con los datos microbiológicos y de cloro residual del LNA, obtenidos en las aguas de entrada a los hospitales, clínicas y EBAIS en el periodo 2004 al 2018. Además, se incluyen los datos de calidad del agua en EBAIS y en 10 entidades participantes en el PSCS.

### Identificación de los establecimientos de salud participantes en el PSCS

Con el apoyo del PSCS se identificaron los centros de salud que realizan el control de calidad del agua, al interior del establecimiento.

### Aplicación de la “Escalera del Agua Potable” en centros de salud en Costa Rica

Con los datos obtenidos de los puntos 3.1, 3.2 y 3.3 se aplica la “Escalera del Agua Potable” de centros de salud, basada en el siguiente cuadro 1.

**Cuadro 1.** Escalera de Agua Potable en Centros de Salud en Costa Rica al 2017

Nivel de servicio	Definición
Servicio avanzado	Debe definirse a nivel nacional (por ejemplo, el agua está disponible cuando se necesita, está accesible para todos, libre de contaminación, etc).
Servicio Básico	Se dispone de agua procedente de una fuente mejorada en las instalaciones, pero que contiene contaminación fecal.
Servicio Limitado	Existe una fuente mejorada, pero no se encuentra en las instalaciones o el agua no está disponible.
Sin servicio	Ausencia de fuente de agua o presencia de una fuente no mejorada.

FUENTE: OMS con adaptación de los autores.

### Comparación de cobertura de acceso a agua para consumo en hospitales en América 2015.

Con los datos aportados por el estudio realizado por un grupo de científicos liderados por Sagar S. Clawla, denominado según la traducción como “Disponibilidad de Agua en Hospitales de Bajos y Medianos Ingresos: implicaciones para mejorar el acceso a la atención quirúrgica segura” [15], se relacionaron los datos de los países del Continente Americano.

### Definición de las metas de cobertura y calidad del agua para el 2030

Con los datos obtenidos y la aplicación de la “Escalera del Agua”, se plantean las metas de cobertura y calidad del ACH en centros de salud para el año 2030, dividido en las etapas comprendidas entre los años 2017-2022 y 2023-2030.

### Limitaciones del estudio

Para la realización del presente estudio, la evaluación de la calidad del agua se efectuó basándose en los datos de análisis microbiológicos, y no responde a un proceso sistemático de control de calidad del agua.

## Resultados

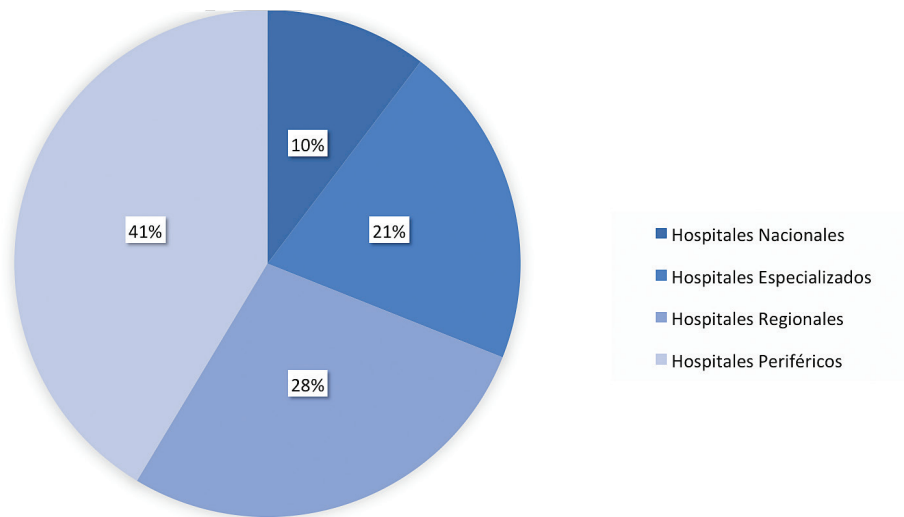
En concordancia con los objetivos específicos y la metodología planteados, se presentan los siguientes resultados:

### Centros de salud de Costa Rica.

#### *Centros de Salud de la Caja Costarricense del Seguro Social.*

La Caja costarricense del Seguro Social (CCSS) está conformada por un conjunto de establecimientos de salud, organizados por regiones y niveles de atención e interrelacionados entre sí, con distintos grados de complejidad y capacidad resolutoria. Los mismos están articulados de forma vertical y horizontal, cuya complementariedad asegura la provisión y continuidad de un conjunto de servicios en salud, destinados a satisfacer necesidades y demandas de la población e incrementar la capacidad operativa institucional.

Los establecimientos de salud y dependencias de la Institución operan bajo un modelo de redes, con el soporte de un sistema de referencia y contra referencia entre las distintas unidades, que se basa en protocolos de atención y relaciones de mutua colaboración. Actualmente la CCSS cuenta con 29 hospitales divididos en Nacionales, Especializados, Regionales y Periféricos. El detalle de esta información se presenta en la figura 1.



FUENTE: CCSS. Elaboración de los autores.

**Figura 1.** Centros hospitalarios administrados por la CCSS.

- Hospitales nacionales

Se encuentran localizados en el Área Metropolitana, y se caracterizan por ser los establecimientos de salud más desarrollados y complejos del país. En esta clasificación se encuentran los hospitales San Juan de Dios, México y Rafael Ángel Calderón Guardia.

- Hospitales especializados

Corresponden a centros de salud que responden a una necesidad específica dentro del Sector Salud, y todos están ubicados en el Valle Central. En esta categoría están los hospitales Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera, Psiquiátrico Manuel Antonio Chapuí Torres, Geriatría Gerontología Dr. Raúl Blanco Cervantes, De la Mujer Dr. Adolfo Carit Evas, Psiquiátrico Dr. Roberto Chacón Paut y el Centro Nacional de Rehabilitación Dr. Humberto Araya Rojas

- Hospitales regionales

Se caracterizan por estar localizados fuera de San José, y funcionan como hospitales generales que atienden las cuatro especialidades básicas a saber medicina, cirugía, gineco-obstetricia y pediatría, además de las sub-especialidades de mayor demanda en su respectiva región. Dependiendo de la situación puntual, estos centros refieren los casos que no pueden resolver por su complejidad, como los altamente calificados y que requieran métodos de diagnóstico especializado, a los hospitales nacionales. A esta categoría pertenecen los hospitales Max Peralta Jiménez (Cartago), San Carlos (Ciudad Quesada), Tony Facio Castro (Limón), Monseñor Sanabria Martínez (Puntarenas), Fernando Escalante Pradilla (San Isidro de El General), San Rafael (Alajuela) y Enrique Baltodano Briceño (Liberia).

- Hospitales periféricos

Corresponden a hospitales que tienen las cuatro especialidades básicas, y responden a razones geográficas o de cantidad de población en el área de acción. Se encuentran bajo los hospitales regionales, y entre ellos están los hospitales Los Chiles, Max Terán Valls (Quepos), La Anexión (Nicoya), Upala, Guápiles, Ciudad Neily, San Vito, Manuel Mora Valverde (Golfito), Tomás Casas Casajús (Ciudad Cortés), Carlos Luis Valverde Vega (San Ramón), San Francisco de Asís (Grecia), San Vicente de Paúl (Heredia) y William Allen Taylor (Turrialba).

- EBAIS y servicios de emergencias médicas

La CCSS cuenta con 1.014 EBAIS distribuidos en todo el territorio nacional. Cuenta también con 859 “Puestos de Visita Periódica” (PVP), a los cuales acude periódicamente el personal de los EBAIS a dar consulta, principalmente para los habitantes de lugares con poca accesibilidad de transporte. Además, algunas Áreas de Salud cuentan con “Servicios de Emergencias Médicas”.

- Centros y otras instituciones de salud

La CCSS cuenta con otras instituciones y centros de salud, entre los que se pueden citar el Banco Nacional de Sangre, la Clínica Oftalmológica, el Centro Nacional del Dolor y Cuidados Paliativos, el Centro Nacional de Resonancia Magnética, el Laboratorio de Genética Humana Molecular y el Laboratorio Nacional de Citologías.

- Direcciones Regionales en Servicios de Salud

Administrativamente, la CCSS se divide en “Direcciones Regionales en Servicios de Salud”, las cuales se subdividen en “Áreas de Salud”; estas prestan sus servicios a través de los EBAIS y los “Servicios de Emergencias Médicas”.

- Direcciones Regionales en Servicios de Salud

La CCSS se divide en 7 “Direcciones Regionales en Servicios de Salud”, ubicados en las zonas de salud Central Sur, Central Norte, Chorotega, Pacífico Central, Huetar Norte, Huetar Atlántica y Brunca.

- Áreas de Salud

Cada “Dirección Regional en Servicios de Salud” se subdivide en “Áreas de Salud”, de los cuales la CCSS cuenta con 103 centros de salud de esta naturaleza.

#### *Áreas de Rectoría del Ministerio de Salud.*

Seguidamente se presenta la lista de áreas rectoras de salud pertenecientes al MS.

*Área Rectora de Salud Región Brunca:* DRRS Brunca y DARS de Buenos Aires, Corredores, Coto Brus, Golfito, Osa y Pérez Zeledón.

*Área Rectora de Salud Región Central Este:* DRRS Central Este y DARS de Cartago, El Guarco, La Unión, Los Santos, Oreamuno, Paraíso y Turrialba.

*Área Rectora de Salud Región Central Norte:* DRRS Central Norte y DARS de Alajuela 1, Alajuela 2, Atenas, Barva-San Rafael, Belén-Flores, Grecia, Heredia, San Pablo-San Isidro, Santa Bárbara, Santo Domingo, Poas y Sarapiquí.

*Área Rectora de Salud Región Central Sur:* DRRS Región Central Sur y DARS de Acosta, Alajuelita, Aserri, Carmen-Merced-Uruca, Coronado, Curridabat, Desamparados, Escazú, Goicoechea, Hatillo, Hospital-Mata Redonda, Montes de Oca, Mora, Moravia, Pavas, Puriscal-Turubares, Santa Ana, Sureste Metropolitana y Tibás.

*Área Rectora de Salud Región Chorotega:* DRRS Chorotega y DARS de Abangares, Bagaces, Cañas, Carrillo, Hojancha, La Cruz, Liberia, Nandayure, Nicoya, Santa Cruz, Tilarán y Upala.

*Área Rectora de Salud Región Huetar Caribe:* DRRS Huetar Caribe y DARS de Guácimo, Limón, Matina, Pococí, Siquirres y Talamanca.

*Área Rectora de Salud Región Huetar Norte:* DRRS Huetar Norte y DARS Aguas Zarcas, Ciudad Quesada, Florencia, Guatuso, Los Chiles y Santa Rosa Pocosol.

*Área Rectora de Salud Región Central Occidente:* DRRS Central Occidente y DARS de Naranjo, Palmares, San Ramón, Valverde Vega y Zarcero.

*Área Rectora de Salud Región Pacífico Central:* DRRS Pacífico Central y DARS de Aguirre, Barranca, Puntarenas-Chacarita, Garabito, Montes de Oro, Orotina, Parrita y Peninsular.

### Estimación de la calidad del agua para consumo humano

La estimación de la calidad del ACH abastecida a centros de salud se divide en dos partes. La primera es la calidad microbiológica y cloro residual en las aguas de entrada a los nosocomios, y la segunda la calidad del agua en el interior de los mismos.

#### *Calidad del agua de acceso a hospitales en Costa Rica.*

En el cuadro 2 se presentan los datos más relevantes obtenidos por el LNA de los muestreos para cloro residual y coliformes fecales/100 mL, realizados entre los años 2004 y 2018.

**Cuadro 2.** Resultados de los Análisis Microbiológicos en las Aguas de Entrada a los Hospitales de Costa Rica 2004-2017.

ITEM	RESULTADO
Centros de salud evaluados	Hospitales: Escalante Pradilla, San Rafael de Alajuela, Enrique Baltodano, Tony Facio, Monseñor Sanabria, Tomás Casas, Ciudad Neily, San Vito Viejo, Max Terán, Calderón Guardia, México, San Juan de Dios, Centro Nacional de Rehabilitación, Adolfo Carit, Nacional de Niños, Blanco Cervantes, Nacional Psiquiátrico, Chacón Paut y Cima. Clínicas: Clorito Picado, Bíblica y Marcial Fallas. EBAIS: La Palma de San Isidro de El General, El Roble de Pasito, San Joaquín, San Rafael y San Isidro de Heredia, Heredia Zona 1, Zona 3A y Zona 3B, Loyola, Santo Domingo de El Roble, Barrio Jesús, Siquirres, Llano Bonito L.C. y La Guaria.
Fecha de muestreo	Entre 01/06/2004 a 16/01/2017
Total de muestras recolectadas	36 muestras
Parámetros evaluados	Coliformes fecales (CF), <i>Escherichia coli</i> (EC), <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (PA), Recuento total (RT) y Cloro residual libre.
Resultados positivos por CF	1 (14 NMP/100 mL en Llano Bonito L.C. el 22/11/2017)
Resultados positivos por EC	1 (14 NMP/100 mL en Llano Bonito L.C. el 22/11/2017)
Resultados positivos por PA	0

Continúa...

Continuación

ITEM	RESULTADO
Recuento total a 35°C	Entrada norte AyA Hospital Escalante Pradilla (1 UFC/1 mL) Entrada AyA Hospital San Juan de Dios (1 UFC/1 mL) Entrada AyA Centro Nacional Rehabilitación (1 UFC/1 mL) Entrada AyA Hospital Nacional de Niños (1 UFC/1 mL) Entrada AyA Hospital Psiquiátrico (7 UFC/1 mL) Entrada AyA Hospital Chacón Paut (2 UFC/1 mL)
Ámbito de cloro residual libre	0,01 a 3,45 mg/L

FUENTE: LNA-AyA

#### *Calidad del agua al interior de los nosocomios.*

El cuadro 3 muestra los resultados de porcentaje de negatividad obtenidos durante la evaluación de la calidad del agua por coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, en la red interior de los hospitales durante el año 2017.

#### **Identificación de centros de salud participantes en programas ambientales**

##### *Programa Sello de Calidad Sanitaria 2017*

Los centros de salud participantes en el Programa Sello de Calidad Sanitaria son:

- Hospital Clínica Bíblica
- Hospital Dr. Rafael Ángel Calderón Guardia
- Hospital Nacional de Niños: Dr. Carlos Sáenz Herrera
- Hospital San Vicente de Paúl
- Hospital Monseñor Sanabria
- Hospital México
- Hospital William Allen Taylor
- Hospital Dr. Fernando Escalante Pradilla
- Hospital Carlos Luis Valverde Vega-San Ramón
- Área de Salud de Pavas

##### *Categoría “Salud Comunitaria” del Programa Bandera Azul Ecológica 2017*

Los centros de salud participantes en el Programa Bandera Azul Ecológica se muestran en el cuadro 4.

##### *Aplicación de la “Escalera de Agua Potable” a los resultados microbiológicos en centros de salud*

En el cuadro 5 y figura 2 se presenta la aplicación de la “Escalera del Agua Potable”, con respecto a los resultados microbiológicos de análisis realizados en centros de salud de Costa Rica.



**Cuadro 3.** Calidad Microbiológica del Agua al Interior de la Red de Distribución de los Hospitales Evaluados en Periodo 2017

Hospital	Muestreos	Número de muestras	porcentaje de negatividad en la red de distribución			Porcentaje de cumplimiento de Recuento heterotrófico en placa*	Cloro residual libre en la red de distribución (mg/L).
			Coliformes fecales	<i>E.coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		
Dr. Rafael Ángel Calderón Guardia	12	47	100	100	100	100	0,0 - 2,0
Hospital Clínica Bíblica	1	1	100	100	100	100	0,4
Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera	2	6	100	100	100	66	0,2 - 0,7
Hospital San Vicente de Paúl	12	47	100	100	100	76,60	0,1 - 1,1
Hospital Monseñor Sanabria	1	3	100	100	100	100	1,5 - 1,7
Hospital México	1	4	100	100	50	50	0,1 - 0,4
Hospital William Allen	1	3	100	100	100	0	0,5 - 0,6
Hospital Escalante Pradilla	2	6	100	100	100	100	1,0 - 0,6
Hospital Carlos Luis Valverde Vega	1	3	100	100	100	100	0,3 - 0,5
Área de Salud Pavas	2	2	100	100	100	100	0,3 - 0,4

FUENTE: Laboratorio Nacional de Aguas

\*El porcentaje de cumplimiento del Recuento Heterotrófico en Placa está dado por el número de muestras cuyo recuento se encuentre menor a 30 UFC/mL entre el total de muestras analizadas para cada centro de salud, según lo establecido en el Decreto Ejecutivo 37083-S Reglamento de agua para consumo humano para Establecimientos de Salud.

\*\*El 87,5% de las aguas, al interior de los hospitales, fueron aptas para el consumo humano.

**Cuadro 4.** Lista de Participantes en la Categoría “Salud Comunitaria del PBAE durante el 2017

Lista de Participantes en la Categoría “Salud Comunitaria” del PBAE 2017	
Área de Salud Los Santos	Comité de Gestión Ambiental Hospital Nacional de Niños
Hospital Monseñor Sanabria	Comisión Institucional de Gestión Ambiental Asamblea Legislativa de Costa Rica
Servicios Médicos EARTH	Área de Salud Pérez Zeledón
Salud Ocupacional	Comunidades de Llano del Cortés
Centro de Atención Primaria Punta Leona	Área Rectora de Salud Osa
Red de Promoción de la salud de Hojancha	Área de Salud Desamparados II
Red Comunal de Promoción de la Salud Río Piedras-Tilarán	CAIS de Siquirres
Área Rectora de Salud Buenos Aires	Comité de Turismo Saludable la Fortuna de San Carlos
Área Rectora de Salud Corredores	CoopeGuanacaste R.L.
Área Rectora de Salud Coto Brus	Área de Salud Zarcero
Área Rectora de Salud Pérez Zeledón	Área de Salud Escazú
Área de Salud Clínica Central Coopesana	Salud Ocupacional Alimentos Pro-Salud
Área Rectora San Francisco de Dos Ríos (Coopesana)	Clínica de Pavas Coopesalud R.L.
Dirección Regional de Rectoría de Salud Brunca	Gestión Ambiental del CASI de Cañas
Coopeagropal R.L.	Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia
Hospital Dr. Fernando Escalante Pradilla	Área Rectora de Salud Nandayure (Carmona)
Hospital México	Laboratorio Nacional de Aguas

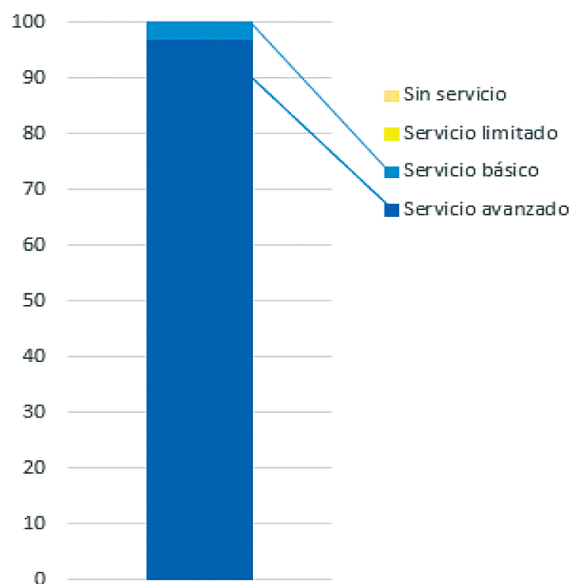
FUENTE: LNA-AyA

**Cuadro 5.** Aplicación de la “Escalera del Agua” en las aguas de entrada de los Centros de Salud de Costa Rica

Servicio avanzado	Acceso a agua disponible cuando se necesita, accesible para todos sin contaminación fecal y sustancias	% Cobertura sin contaminación fecal y <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , y sustancias químicas tóxicas	97% de aguas de entrada sin contaminación microbiológica
Servicio Básico	Se dispone de agua procedente de una fuente mejorada en las instalaciones pero, con contaminación microbiológica	% de cobertura de agua con contaminación microbiológica	3%
Servicio Limitado	Existe una fuente mejorada pero no se encuentra en....	% de cobertura	0%
Sin servicio	Ausencia de fuente de agua disponible o presencia de una fuente mejorada	% de cobertura	0%

FUENTE: LNA, elaborado por los autores.

**Gráfico 2. Escalera de agua potable en Centros de Salud de Costa Rica 2017**



**Figura 2.** Escalera de agua potable en Centros de Salud de Costa Rica 2017. FUENTE: LNA, elaborado por los autores.

*Aplicación de la “Escalera de Agua Potable” a los resultados microbiológicos en el interior de los hospitales de Costa Rica*

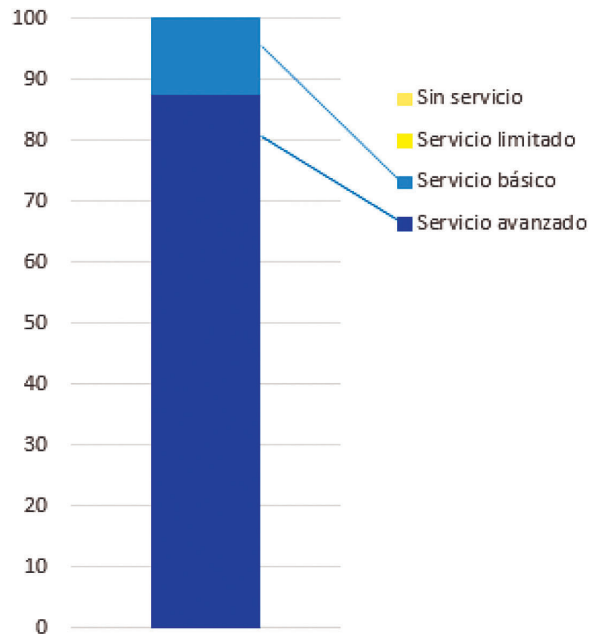
En el cuadro 6 y figura 3 se presenta la aplicación de la “Escalera del Agua Potable”, con respecto a los resultados microbiológicos de análisis realizados en el interior de los hospitales de salud de Costa Rica.

**Cuadro 6.** Aplicación de la “Escalera del Agua” en las aguas en el interior de los hospitales de Costa Rica 2017

Servicio avanzado	Acceso a agua disponible cuando se necesita, accesible para todos sin contaminación fecal y sustancias	% Cobertura sin contaminación fecal y Pseudomona aeruginosa, y sustancias químicas tóxicas	87,5% de aguas internas sin contaminación microbiológica
Servicio Básico	Se dispone de agua procedente de una fuente mejorada en las instalaciones pero, con contaminación microbiológica	% de cobertura de agua con contaminación microbiológica	12,5%
Servicio Limitado	Existe una fuente mejorada pero no se encuentra en....	% de cobertura	0%
Sin servicio	Ausencia de fuente de agua disponible o presencia de una fuente mejorada	% de cobertura	0%

FUENTE: LNA, elaborado por los autores.

**Gráfico 3. Escalera de Agua Potable en la Red Interna de los Hospitales de Costa Rica 2017**



**Figura 3.** Escalera de Agua Potable en la Red Interna de los Hospitales de Costa Rica 2017

### Comparación de cobertura de acceso a agua para consumo humano en hospitales de América 2015.

El cuadro 7 muestra los datos de porcentaje estimado en hospitales con una fuente de agua en países de bajos y medianos ingresos en América.

Sin embargo, los datos presentados en este estudio, demuestran que en el 2017 la cobertura de acceso a agua apta para consumo humano, según el “Reglamento del Agua para Consumo Humano en Centros de Salud”, fue de 97,0% en las aguas de entrada de los hospitales y de 87,5% en las aguas intrahospitalarias.

### Definición de metas

Para efectos prácticos, las metas propuestas se indican en el punto 4.5.

### Análisis de resultados

De conformidad con el orden de los objetivos, la metodología y la presentación de los resultados, a continuación, se realiza el análisis de los resultados de este estudio.

### Descripción de los servicios de salud en Costa Rica

Este estudio se enfocó, principalmente, en los servicios de salud públicos de la CCSS y del MS.

En el caso de la CCSS, esta se divide en 29 hospitales ubicados en el territorio nacional, a saber, en tres hospitales nacionales, seis especializados, siete regionales, 13 periféricos y seis especializados.

**Cuadro 7.** Porcentaje Estimado en Hospitales con una Fuente de Agua Mejorada en Países de Bajos y Medianos Ingresos en América - 2015

País	Estimación Baja	Estimación Superior
Granada	28,5	67,9
Guyana	28,6	69,9
Santa Lucía	28,9	68,4
Haití	42,0	90,1
Nicaragua	50,2	90,2
República Dominicana	60,5	85,5
Perú	62,6	80,1
Colombia	65,6	83,7
Ecuador	65,8	87,7
Bolivia	66,5	77,3
Honduras	69,8	88,3
El Salvador	70,5	89,2
Guatemala	71,0	89,5
Panamá	71,1	89,9
México	71,4	91,0
Brasil	71,5	90,0
Costa Rica	72,6	91,3
Paraguay	73,3	92,3
Promedio	59,5	84,6

FUENTE: Sagan Chawa et. Al. OMS.

La CCSS, se divide administrativamente en siete “Direcciones Regionales de Servicios de Salud”, los cuales se subdividen en “Áreas de Salud”, mediante 103 “Áreas de Emergencias Médicas”. Por otra parte, también cuenta con 103 “Áreas de Salud” y 1.014 EBAIS. Además, cuenta con seis centros o instituciones de salud como:

- El Banco Nacional de Sangre
- Clínica Oftalmológica
- Centro Nacional del Dolor y Cuidados Paliativos
- Centro Nacional de Resonancia Magnética
- Laboratorio de Genética Humana Molecular
- Laboratorio Nacional de Citologías

Con respecto al MS, el mismo está dividido en nueve “Direcciones Regionales” y 82 “Áreas Rectoras de Salud”. Además, el Artículo 269 de la Ley General de Salud [16], según el Capítulo 1 “Del agua para el uso y consumo humano y de los deberes y restricciones a que quedan sujetos las personas en esa materia”, le corresponde al MS vigilar la calidad del agua potable,

en todos los sistemas de abastecimiento de agua que consume la población. Además, mediante el Decreto N° 37083-S, también le corresponde vigilar la aplicación del “Reglamento para la Calidad del Agua para Consumo Humano en Establecimientos de Salud”.

No obstante, en este campo de la vigilancia de la calidad del agua, el MS tiene serias deficiencias que le imposibilita realizar adecuadamente esta función. En razón de esto, mediante la designación del Laboratorio Central de AyA como Laboratorio Nacional de Aguas, mediante el Decreto Ejecutivo 26-066-S [17], el LNA propuso el “Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Centros de Salud”, e inició la vigilancia de la calidad del agua en las entradas de hospitales, clínicas y EBAIS. Además, estableció el Programa Sello de Calidad Sanitaria en el año 2002 y la categoría de “Salud Comunitaria” en el Programa Bandera Azul Ecológica en el 2011.

### Estimación de la calidad del agua en centros de salud

#### *Calidad microbiológica en las aguas de entrada a los nosocomios*

La estimación de la calidad del agua en centros de salud se divide en la calidad de las aguas de entrada a los hospitales y clínicas, los cuales son abastecidos por AyA, municipios, ESPH, acueductos rurales y pozos propios. Los muestreos realizados por el LNA, indican que el 97% de las muestras analizadas presentaron resultados negativos por contaminación fecal y aislamientos de *Pseudomonas aeruginosa*, y en la mayoría de los muestreos se detectaron niveles adecuados de cloro residual (0,3-0,6 mg/L).

En el caso específico de los hospitales, los análisis realizados al interior de los establecimientos indican que el 87,5%93% no presentaban contaminación bacteriana.

#### Participación en programas ambientales

En los 10 establecimientos de salud que participan en el Programa Sello de Calidad Sanitaria (nueve hospitales y un Área de Salud en Pavas), se realizaron análisis al interior del acueducto interno y en la entrada del establecimiento. En estos casos se realizan análisis microbiológicos y fisicoquímicos, con sus respectivas inspecciones sanitarias. Salvo excepciones, más del 87,5% de los hospitales suministran agua que cumple con el Reglamento N°37083-S.

En forma paralela, algunos de estos establecimientos participaron en la categoría de “Salud Comunitaria” del Programa Bandera Azul Ecológica.

#### Aplicación de la “Escalera del Agua Potable” para centros de salud

Como se observa en los cuadros 5 y 6, la estimación de la calidad del ACH en los servicios de salud indica que:

AGUAS DE ENTRADA	AGUAS INTRAHOSPITALARIAS
• 97% “Servicios avanzados”	87,5% “Servicios avanzados”
• 3% “Servicio básico”	12,5% “Servicios básicos”
• 0% “Servicio limitado”	0% “Servicio limitado”
• 0 % “No tiene servicio”	0% “No tiene servicio”

Como se observa, estos resultados son cercanos al 93,9% de cobertura de agua de calidad potable suministrada a la población total de país, según el informe titulado “Agua Potable y Saneamiento: coberturas en viviendas y más allá del hogar al 2017” [18].

## Propuesta de metas para el mejoramiento de la calidad del agua en centros de salud en Costa Rica

Con estos datos línea base de cobertura de calidad del ACH en centros de salud de Costa Rica, se proponen las siguientes metas:

- Ampliar a 100% la participación de los hospitales en el Programa Sello de Calidad Sanitaria, aumentando las inscripciones a 80% en el 2022 y 100% en el 2030.
- Ampliar la participación de los hospitales, clínicas y áreas rectoras de Salud en la categoría de “Salud Comunitaria” en un 30% para el 2022 y un 60% para el 2030.
- Sobrepasar la cobertura de agua con calidad potable en centros de salud a un 99% en el 2022 y 100% en el 2030, y en el agua intrahospitalaria a un 95% y 100%, respectivamente.

## Datos comparativos sobre acceso a agua en los hospitales

Los resultados presentados del cuadro 7, permiten observar que el porcentaje de acceso a agua de los hospitales en Costa Rica ocupa el segundo lugar en América Latina, con un 91,3%, el cual es concordante con el acceso a agua potable en la población costarricense en el año 2017; sin embargo, en este aspecto es importante indicar que los datos de nuestro país son de cobertura de agua de calidad potable, mientras que en las otras 17 naciones la calidad del agua es desconocida, porque se refieren a fuentes de agua mejorada, las cuales no necesariamente incluyen la calidad microbiológica y físico-química del preciado líquido.

## Conclusiones y recomendaciones

El análisis de los resultados nos permite hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### Conclusiones

- El 97% de los centros de salud estudiados tienen acceso a agua apta para el consumo; no obstante, en las aguas al interior de los nosocomios este porcentaje solamente alcanza el 87,5%.
- La aplicación de la “Escalera del Agua Potable” en las aguas de entrada a los centros de salud, indica que el 97% califica como “servicios avanzados”, 3% como servicios básicos, 0% como servicio limitado y 0% sin servicio.
- La aplicación de la “Escalera del Agua” al interior de los nosocomios, indica que el 87,5% clasificó como “Servicios avanzados”, el 12,5% como “Servicios básicos”, y el 0% como “Servicios limitados” y “Sin servicio”, respectivamente.
- Es necesario alcanzar las metas propuestas de 99% y 100% de calidad del agua potable para el 2022 y 2030, respectivamente, en centros de salud.
- Es necesario alcanzar las metas propuestas de 95% y 100% de calidad del agua potable para el 2022 y 2030, respectivamente, a nivel intrahospitalario.
- Estudios a nivel del continente americano, en países de bajo y mediano ingreso, ubican a Costa Rica en el segundo lugar de acceso a agua en los hospitales, en el año 2015, con un 91,3%, solamente por debajo de Paraguay.

### Recomendaciones

- El LNA debe ampliar los análisis en los centros de salud, con exámenes microbiológicos y físico-químicos permanentes.

- Ampliar la participación de los centros de salud en los programas ambientales (PSCS y PBAE), con el propósito de mejorar la calidad del ACH.
- Definir y aplicar “Normas Básicas del Higiene del Entorno en la Atención Sanitaria”, fomentando el control de la calidad del agua y la implementación de “Planes de Seguridad del Agua” al interior de los centros de salud [19].

## Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud. *Seguimiento y datos empíricos sobre agua y saneamiento*. Documento en línea: [www.who.int/monitoring](http://www.who.int/monitoring); Programa Conjunto de Monitoreo; OMS; Nueva York, EUA; febrero de 2017; sp.
- [2] Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia/Organización Mundial de la Salud. *25 Progresos en materia de saneamiento y agua potable: Informe de actuación 2015 y evaluación del ODM*. UNICEF/OMS; Ginebra, Suiza; 2015; pág. 1-90.
- [3] Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia/Organización Mundial de la Salud. *Agua potable gestionada en forma segura*. UNICEF/OMS; Nueva York, EUA; pág. 1-53.
- [4] Darner A. Mora. *Propuesta para el Reglamento de Agua para Consumo Humano Intrahospitalario en Costa Rica*; En Criterios Microbiológicos para el Agua en sus Diferentes Usos. La Unión, Cartago; Laboratorio Nacional de Aguas, 2005; sp.
- [5] Darner A. Mora. *Estudio sobre la Calidad del Agua para Consumo Humano Intrahospitalaria y sus Derivados en Costa Rica*. Tesis de grado para optar por la Maestría en Salud Pública. San José, Costa Rica; Universidad de Costa Rica; 1999; pág 1-78.
- [6] Poder Ejecutivo. *Reglamento para Consumo Humano en establecimientos de Salud*. San José, Costa Rica; Decreto Ejecutivo N° 37083-S, publicado en La Gaceta N°59 del 07 de mayo 2012; sp.
- [7] Laboratorio Nacional de Aguas. *Programa de Vigilancia y Control de Calidad del Agua para Consumo Humano*. La Unión, Cartago; LNA; 2007; sp.
- [8] Laboratorio Nacional de Aguas. *Programa Sello de Calidad Sanitaria: Origen y Evolución*. La Unión, Cartago; LNA; 2017; pág 1-2.
- [9] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría de Salud Comunitaria*. La Unión, Cartago; 2011; sp.
- [10] Poder Ejecutivo. *Integración de las Categorías del Programa Bandera Azul Ecológica*. San José, Costa Rica; Decreto Ejecutivo N° 36481-S-Minae del 14 de marzo 2011; pág 1-14.
- [11] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Objetivo 6. Agua Limpia y Saneamiento*. PNUD; Documento en línea: [www.cr.undp.org.sdg-overview>gobl-6](http://www.cr.undp.org.sdg-overview>gobl-6).
- [12] Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia/Organización Mundial de la Salud. *Seguimiento en Materia de Agua y Saneamiento en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. UNICEF/WHO; GEHI.JMP; 2015; sp.
- [13] Caja Costarricense de Seguro Social. *Memoria Institucional 2016*. San José, Costa Rica; 2017; pág 1-52.
- [14] Ministerio de Salud. *Límites y Contactos de Direcciones de Áreas Rectoras de Salud*. Ministerio de Salud Pública (MSP); San José, Costa Rica; Documento en línea: [https://www.google.co.cr/search?rlz=1C2GGRV\\_enCR768CR768&q=contactos+areas+rectoras+salud.xlsx](https://www.google.co.cr/search?rlz=1C2GGRV_enCR768CR768&q=contactos+areas+rectoras+salud.xlsx)
- [15] Sagan S. Chawla, et al. *Water Availability at Hospitals in Low-and Midle-income communities: implications for improving access to safe surgical case*; Rochester, MN 55902; 2016; pág 169-178.
- [16] Asamblea Legislativa. *Ley General de la Salud de Costa Rica. N°5395*, San José. Costa Rica. Gaceta 222 del 24/11/1973.
- [17] Poder Ejecutivo. *Designación del Laboratorio Central del AyA como Laboratorio Nacional de Aguas*. San José, Costa Rica; Decreto Ejecutivo 26066-S; Gaceta 109 del 09 de junio 1997; pág. 1-3.
- [18] Darner A. Mora, Carlos F. Portuguez. *Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Viviendas más allá del Hogar en Costa Rica al 2017*. Tres Ríos, La Unión. Laboratorio Nacional de Aguas; 2018; pág. 1-24.
- [19] John Adams, Jamie Bartram, Yves Chartier. *Normas básicas de higiene del entorno de la Atención Sanitaria*. Ginebra, Suiza, OMS; SA: pág 1-53.



# Agua para consumo humano: Costa Rica en el contexto mundial al año 2017

## Drinking water: Costa Rica in the global context at the year 2017

Darner A. Mora-Alvarado<sup>1</sup>

---

Mora-Alvarado, D. Agua para consumo humano: Costa Rica en el contexto mundial al año 2017. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág. 127-137.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4886>



<sup>1</sup> Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.

## Palabras clave

Agua para consumo humano; calidad; cobertura; manejo seguro del agua.

## Resumen

Este estudio tiene como objetivo describir los avances de cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica, y su comparación con los países de América y el mundo. Se describieron y compararon los conceptos de Fuentes de Agua Potable Mejoradas utilizadas por el Programa Conjunto de Monitoreo (PCM) dentro del marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio y el nuevo concepto de Servicios de Agua Potable Gestionados de Manera Segura, según los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se describió la cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica, aportada por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA). En cuanto a los avances en agua potable gestionada de manera segura, se compararon los datos de Costa Rica con los del resto de mundo. Además, se describieron las estrategias de Costa Rica para cumplir con la universalización de los servicios de agua potable al 2022 y al 2030. Los resultados indicaron que Costa Rica alcanzó, según el LNA, un 91,2% de agua gestionada de manera segura y según el PCM el 90%. Es fundamental continuar con estrategias como las impulsadas por el LNA, incluidos los Planes de Seguridad del Agua y la vigilancia de la calidad del agua en viviendas, centros de salud y centros de educación. Por último, se recomienda a las otras regiones del mundo aplicar lineamientos similares a los aplicados en Costa Rica para mejorar los servicios de agua potable.

## Keywords

Drinking water; quality; coverage; safely managed drinking water.

## Abstract

The present study aims to describe the progress on coverage and quality of drinking water in Costa Rica, and its comparison with American countries and the world. The concepts of Improved Drinking Water Sources used by the Joint Monitoring Programme for Water Supply (JMP) within the framework of the Millennium Development Goals and Safely Managed Drinking Water Service according to the Development Sustainable Goals were described and compared. The coverage and quality of drinking water in Costa Rica, given by the *Laboratorio Nacional de Aguas* (LNA), were described. According to the progress on Safely managed drinking water, data from Costa Rica and the world was compared. Also, the strategies of Costa Rica to accomplish with the universalization of drinking water services to 2022 and 2030 were described. The results showed that Costa Rica, according to the LNA, reached a 91.2% of safely managed drinking water, and a 90% according to the JMP. It's essential to continue with the strategies driven by the LNA, which include: Water Safety Plans, the monitoring of water quality in homes, health centers and education centers. Lastly, it is recommended that the other regions of the world apply similar guidelines to those applied in Costa Rica to improve drinking water services.

## Introducción

En el año 2000, 191 jefes de Estado y de Gobierno aprobaron en Nueva York, los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), los cuales estaban constituidos por ocho objetivos y 17 metas [1]. Dentro de estos el Objetivo 7, se enfocó a “Garantizar la sostenibilidad del Medio Ambiente”. Dentro de este objetivo una de las 4 metas era “Reducir a la mitad para el 2015, la proporción

de personas sin acceso sostenible al agua potable y servicios básicos de saneamiento” [2]. En el caso específico del agua potable, el “Programa Conjunto de Monitoreo” (PCM) [3], acuñó el concepto de “Fuentes de Agua Potable Segura” como sinónimo de agua potable; no obstante, este solo solicitaba a las naciones la cobertura de agua suministrada por cañería, pozos y nacientes protegidas a 1 km de la vivienda [4], lo cual no incluía ni la calidad del agua, menos la cantidad, continuidad, costos y cobertura. Sin embargo, en el caso de Costa Rica, los aportes del “Programa de Vigilancia y Control de Calidad del Agua del Laboratorio Nacional de Aguas [5], el cual prepara informes anuales de cobertura y calidad del agua para consumo humano desde 1991 [6] [7] [8], y del PCM de UNICEF y OMS, han sido concordantes en lo que respecta a los datos de cobertura. y la calidad del agua suministrada a la población.

El 25 de septiembre del 2015, en la Asamblea de la Organización de las Naciones Unidas, se aprobaron los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) [9] los cuales incluyen 17 objetivos y 169 metas, tomando como línea base los datos del 2015. El ODS 6, sobre “Agua Limpia y Saneamiento”, corrigió en parte, las debilidades del ODM 7 en la meta 3, al incorporar el nuevo concepto de “Servicios de Agua Potable Gestionados de Manera Segura”, el cual se define como: agua para consumo proveniente de una fuente de agua mejorada ubicada en la vivienda o lote, disponible cuando se necesita y libre de contaminación fecal y sustancias químicas prioritarias.

Con respecto a sustancias químicas prioritarias, se refiere a valores máximos no permitidos como Flúor, Arsénico y otros parámetros vinculados con la salud de los usuarios [10]. Es decir, a partir del 2016 al 2030, los gobiernos de los países de la ONU, deben reportar la cobertura del suministro de agua en las viviendas, centros educativos y de salud, con calidad fisicoquímica y microbiológica, la continuidad y la accesibilidad de los servicios. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo describir las estimaciones de cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica y comparar con los países de América Latina y el Caribe y otras regiones del mundo, en el año 2015. Además, aborda las estrategias y metas país al año 2022 y 2030 de Costa Rica en el suministro de agua de calidad potable.

## Metodología

### Fuentes de Agua Potable Mejoradas y Servicios de Agua Potable Gestionadas de Manera Segura

Se realizó un estudio de las descripciones de las Fuentes de Agua Potable Mejoradas, usadas en el objetivo 7, de los Objetivo de Desarrollo del Milenio (ODM): 1990-2015. A su vez, se realizó la comparación de este concepto con el de Servicios de Agua Potable Gestionados de Manera Segura, el cual se encuentra dentro del objetivo 6 “Agua Limpia y Saneamiento” de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); 2015-2030.

### Cobertura y Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica

Con el aporte de los datos del programa de Vigilancia y Control de Calidad del Agua para Consumo Humano del LNA, se recopilaron los datos de Cobertura y Calidad al año 2015 [11] y al año 2017 [12][13][14].

### Datos de UNICEF/OMS sobre los avances de Cobertura de Agua para Consumo Humano en el Mundo

Los datos sobre la evaluación de las coberturas de agua para consumo humano, por naciones y a nivel regional y mundial se presentan del Informe “25 Progresos en materia de saneamiento y agua potable. Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM” [15].

La línea base de la situación del agua para consumo humano, siguiendo el concepto de “Servicios de Agua Potable gestionados de Manera Segura” se aportaron con el documento “Progresos en materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene. Informe de actualización del 2017 y línea base de los ODS” [16].

### Datos línea base de Servicios de Agua Potable Gestionados de Manera Segura: Costa Rica y las Regiones del Mundo:

Los resultados de la línea base de “Servicios de Agua Potable Gestionados de Manera Segura” para los países de las Américas, con otras 7 regiones y a nivel global (2015, 2016 y 2017); además de su comparación con Costa Rica, se subdividieron en: agua en la vivienda; agua disponible en la vivienda; y agua libre de contaminación

Los datos utilizados fueron aportados por UNICEF/OMS y el Laboratorio Nacional de Aguas (Costa Rica).

### Estrategias y acciones para mejorar los servicios de Agua para Consumo Humano en Costa Rica

Se identifican las estrategias y acciones propuestas por el LNA para mejorar la calidad del agua y la calidad de los servicios de agua potable en Costa Rica, periodo 1989-2030.

## Resultados

### Cobertura de Agua para Consumo en Costa Rica al 2015

En la figura 1, se presenta la evolución de cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica de 2000 al 2015.

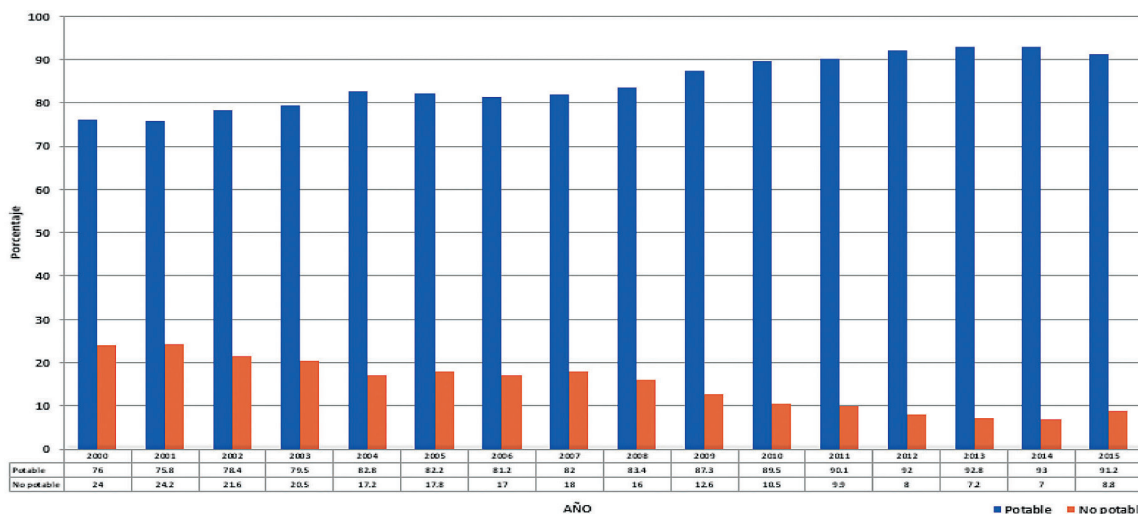


Figura 1. Evolución de Cobertura de Agua de Calidad Potable en Costa Rica de 2000 al 2015

### Cobertura de Agua Potable Gestionados de Manera Segura en Costa Rica: 2015, 2016 y 2017

En el cuadro 1, se presentan las estimaciones de agua potable gestionados de manera segura en Costa Rica del 2015 al 2017.

**Cuadro 1.** Estimaciones de Agua Potable Gestionados de Manera Segura en Costa Rica: 2015,2016,2017

Nivel de servicio	Definición	Porcentaje de Cobertura		
		2015	2016	2017
Agua gestionada de manera segura	Proveniente de una fuente de agua mejorada ubicada en la vivienda o lote, disponible cuando se necesita y libre de contaminación fecal y por químicos prioritarios.	91,2	91,8	93,9
Básico	Proveniente de una fuente mejorada en la medida de que el tiempo de ida, espera y vuelta para conseguir agua no sea mayor a 30 minutos.	4,9	3,2	2,2
Limitado	Proveniente de una fuente mejorada con un tiempo de ida, espera y vuelta para conseguir agua mayor a 30 minutos.	0,6	0,5	0,4
No mejorado	Proveniente de un pozo excavado no protegido o de un manantial no protegido.	3,3	4,0	3,2
Agua Superficial	Procedente de ríos, represas, lagos, estanques, arroyos, canales o canales de riego.	0,3	0,5	0,3

Fuente. Informe de cobertura y calidad del agua del LNA

### Datos de Costa Rica y otras naciones y regiones del Mundo de Servicios de Agua Gestionada de Manera Segura

Con los datos de OMS/UNICEF mediante el PCM sobre el “Progresos en Materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene 2017”, se presenta la situación de Costa Rica en el contexto de naciones de las Américas y otras regiones del Mundo.

*Servicios de Agua Potable Gestionados de Manera Segura: Situación de Costa Rica en las Américas: 2015*

En la tabla 4, se presentan las estimaciones nacionales de agua para consumo, según el concepto de servicios de agua potable gestionable de manera segura, en donde se presentan las coberturas de agua: gestionado de manera segura, accesibles en vivienda, disponible cuando se necesitan y libres de contaminación. Se presentaron datos para 232 países en el documento “Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS”.

En el cuadro 2, se presentan 97 de los cuales 11 son países de Las Américas.

### Datos línea Base de Servicios de Agua para Consumo accesible en la Vivienda, disponible cuando se necesita y libre de contaminación en Costa Rica y en las regiones del Mundo

En el cuadro 3, se presentan según las estimaciones del agua disponibles en las viviendas, libre de contaminación en Costa Rica y su comparación con 8 regiones y con la totalidad del planeta.

**Cuadro 2.** Estimaciones Nacionales (porcentuales) de Agua para Consumo Humano: Informe de Actualización del 2017 y Línea Base de los ODS en las Américas

Países América y el Caribe	Nacional			
	Gestionados de manera segura	Accesibles en Vivienda	Disponibles cuando se necesitan	Libres de contaminación
Martinica	100	100	N.R.	100
Argentina	99	99	N.R.	99
Estados Unidos	99	99	99	99
Chile	98	99	99	98
Costa Rica	90	100	90	95
Ecuador	74	91	88	74
Colombia	71	96	74	79
Guatemala	61	86	61	92
Nicaragua	59	78	61	67
Perú	50	84	73	50
México	43	94	69	43
Curacao	N.R.	99	N.R.	N.R.
Guadalupe	N.R.	99	N.R.	N.R.
Islas Vírgenes de los Estados Unidos	N.R.	99	N.R.	N.R.
Uruguay	N.R.	99	100	N.R.
Anguila	N.R.	98	88	N.R.
Barbados	N.R.	98	89	N.R.
Canadá	N.R.	98	N.R.	N.R.
Islas Vírgenes Británicas	N.R.	98	N.R.	N.R.
Brasil	N.R.	97	N.R.	N.R.
Montserrat	N.R.	97	N.R.	N.R.
Aruba	N.R.	96	N.R.	N.R.
Bahamas	N.R.	96	98	N.R.
Santa Lucía	N.R.	96	N.R.	N.R.
Belice	N.R.	95	N.R.	N.R.
Paraguay	N.R.	95	86	N.R.
Trinidad y Tobago	N.R.	95	80	N.R.
Guyana	N.R.	94	N.R.	N.R.
Puerto Rico	N.R.	94	94	N.R.
San Vicente y Las Granadinas	N.R.	94	70	N.R.
Cuba	N.R.	93	N.R.	N.R.
Panamá	N.R.	93	85	N.R.
Bolivia	N.R.	92	78	N.R.

Continúa...

Países América y el Caribe	Nacional			
	Gestionados de manera segura	Accesibles en Vivienda	Disponibles cuando se necesitan	Libres de contaminación
Islas Falkland (Malvinas)	N.R.	92	N.R.	N.R.
República Dominicana	N.R.	92	N.R.	N.R.
Honduras	N.R.	91	60	N.R.
Islas Caimán	N.R.	91	82	N.R.
El Salvador	N.R.	90	71	N.R.
Granada	N.R.	90	92	N.R.
Guyana Francesa	N.R.	90	N.R.	N.R.
Islas Turcos y Caicos	N.R.	90	N.R.	N.R.
Sint Maarten (parte holandesa)	N.R.	90	N.R.	N.R.
Suriname	N.R.	90	53	N.R.
Venezuela	N.R.	89	60	N.R.
Jamaica	N.R.	83	56	N.R.
Antigua y Barbuda	N.R.	75	90	N.R.
Dominica	N.R.	75	53	N.R.
Haití	N.R.	7	60	N.R.

N.R.: No reportado

Fuente: Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS. Organización Mundial de la Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), 2017

**Cuadro 3.** Agua disponible en la vivienda y libre de contaminación en Costa Rica, regiones del Mundo y la totalidad del Planeta

Regiones del Mundo	Agua en la vivienda (%)	Disponible cuando se necesita (%)	Libre de contaminación (%)
Costa Rica	100	90	95
Asia Oriental	100	4	11
Oceanía	100	26	4
África Subsahariana	100	51	41
Austria y Nueva Zelanda	100	97	16
América del Norte y Europa	100	38	97
América Latina y El Caribe	100	57	49
Asia Occidental	100	61	19
Asia Central y Meridional	100	73	74
Totalidad del Mundo	100	41	45

Fuente. UNICEF/OMS: PCM: 2017

## **Estrategias y Acciones de Costa Rica para avanzar en las Coberturas de Agua Potable Gestionada de Manera Segura**

El 14 de abril de 1961, mediante la Ley 2726, el Estado costarricense estableció el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SNAA) [17].

En 1964 el SNAA creó el Laboratorio Central con el propósito de vigilar y controlar la calidad del agua para consumo humano [18].

En 1966 el SNAA estableció el “Programa Nacional de Acueductos Rurales” [19].

En 1989, el Director del Laboratorio Central, implementó las siguientes acciones para impulsar la ampliación de la cobertura con agua de calidad potable en Costa Rica:

Conformación de equipos de trabajo en las regiones del AyA enfocados al control de calidad del agua para consumo.

En 1991 profesionales del Laboratorio Central, desarrollaron el código de colores, para medir los avances en calidad de los acueductos por el AyA.

En 1991 ante la amenaza de la epidemia del cólera, funcionarios del AyA, establecieron un diagnóstico de la calidad del agua, en el marco del “programa Nacional para la Prevención del cólera [20].

En 1996, el Laboratorio central del AyA, creó el programa Bandera Azul Ecológica, con el objetivo de crear un incentivo para organizar a la sociedad civil para proteger el agua, el ambiente y la salud pública en nuestro país [21].

En 1997, se designó al Laboratorio Central como Laboratorio Nacional de Aguas, mediante el Decreto Ejecutivo 26066-S [22].

En el 2002, se estableció el Programa Sello de Calidad Sanitaria (PSCS), para organizar a los entes operadores de acueductos, para suministrar agua de calidad potable, en forma sostenible y en armonía con la naturaleza, mediante el acuerdo de la Junta Directiva del AyA: AN-2002-150 [23].

Del 2002 al 2006, se implementó el “Programa Nacional de Mejoramiento de la Calidad del Agua Potable” (PNMCAP) [24]. En este periodo la cobertura de calidad del agua para consumo humano pasó de un 78,4% a 81,2%.

En el 2007, se estableció vía Decreto Ejecutivo 33953-S-MINAE, el Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable: 2007-2015 [25]. En el periodo del 2007 al 2015, la cobertura de calidad del agua para consumo, pasó del 82,0% a 91,2%.

Para fortalecer esta estrategia el Laboratorio Nacional de Aguas, acreditó la gestión y las técnicas de análisis de agua con la Norma ISO: 17025:2005. Y en el 2016, acreditó las Inspecciones Sanitarias con la Norma ISO: 17020: 2012.

Con los datos aportados por los informes de cobertura y calidad del agua del 2016 y 2017, se establecieron los datos línea base para las coberturas de agua de calidad potable en viviendas, centros de salud y educación.

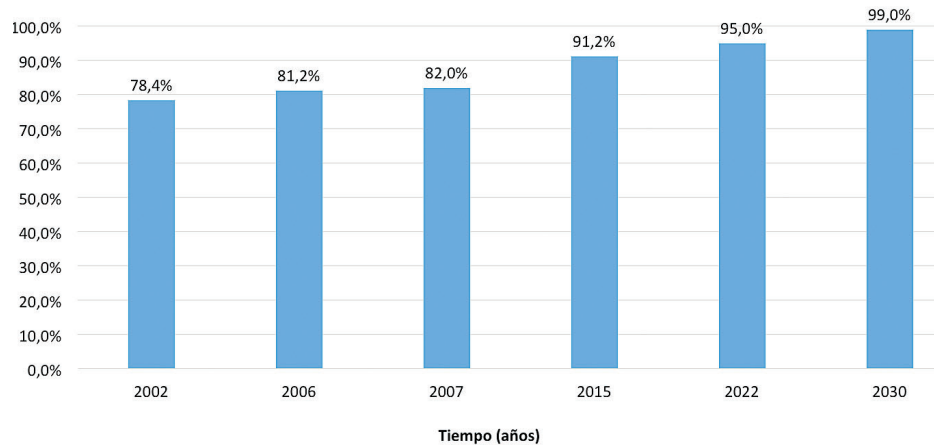
En el año 2016, el Laboratorio Nacional de Aguas, elaboró el Índice de Riesgo para la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), el cual es un instrumento para interpretar el Reglamento para la Calidad del Agua Potable [26].

En el año 2018, el Ministerio de Salud y el AyA, impulsaron e implementaron la directriz para que se apliquen los Planes de Seguridad del Agua. En el mismo año 2018, el LNA estableció el índice de calidad y continuidad, para valorar la calidad de los servicios de agua potable [27].



Fundamentados en estas acciones y tomando en cuenta los datos línea base del 2016 y 2017, se proporcionan las metas en cobertura de agua potable para Costa Rica, en los años 2022 y 2030.

En la figura 2, se presenta la secuencia de cobertura de agua potable, desde el 2002 al 2030.



**Figura 2.** Estimaciones de Cobertura con Agua de Calidad Potable en Costa Rica: 2002 al 2030

## Analisis de resultados

### Fuentes de Agua Potable Mejoradas vs Servicios de Agua Potable Gestionadas de Manera Segura

En los servicios de agua potable gestionados de manera segura, se incluye los aspectos de accesibilidad, disponibilidad y la calidad del agua, fundamentados en que el agua debe estar libre de contaminación fecal y sustancias químicas tóxicas prioritarias como Flúor y Arsénico, mientras que el antiguo concepto de Fuentes de Agua Potable Mejoradas, se enfocaba únicamente en la cobertura de agua por cañería, pozo o nacientes protegidas a 1 km de la vivienda.

En este contexto, el PCM dio el paso esencial en la meta 6.1 del Objetivo 6 “Agua Limpia y Saneamiento”, al medir el avance de los datos línea base al 2015 al 2030, en accesibilidad, disponibilidad y calidad del agua para consumo humano, lo cual va de la mano los esfuerzos que se realicen a nivel de pública de cada nación para evitar las enfermedades de transmisión hídrica. En este aspecto, los datos línea base en el 2015 de este estudio, en donde se comparan los datos de Costa Rica con las otras naciones y regiones del mundo, aportados por el informe “Progressos en Materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene 2017, de OMS/UNICEF, para medir los avances del cumplimiento de las proyecciones de las metas al 2022 y al 2030.

### Cobertura de Agua para Consumo en Costa Rica: periodo 2000-2015.

Las estimaciones de Cobertura de agua de calidad potable en Costa Rica, como se observa en la figura 1, han venido evolucionando de manera creciente, iniciando el siglo XXI (año 2000) con 76% y alcanzando un 91,8% al año 2015. Este importante avance resalta la acción del Laboratorio Nacional de Aguas, mediante su programa de Vigilancia y Control de Calidad del Agua, el cual ha reportado las coberturas y suministros de agua por cañería desde 1991, además de la cobertura en calidad del agua.

## Coberturas de Calidad del Agua gestionada de Manera Segura en los años: 2015,2016 y 2017.

De conformidad con la aplicación del nuevo concepto de agua potable gestionada de manera segura del OD6 “Agua Limpia y Saneamiento”, en el cuadro 1, se aprecia que a nivel nacional se pasó de una cobertura del 91,2% en el 2015 a 91,8% en el 2016 y 93,9% al año 2017. Estos datos son positivos y para lograr cumplir con la meta al año 2022 y al 2030, es fundamental aplicar la “Política Nacional del Sector de Agua Potable: 2017-2030” (28) y la aplicación y sostenibilidad de las estrategias.

### Datos de Costa Rica y otras regiones del Mundo

En el cuadro 2, se presenta los datos de gestión de agua de manera segura, accesible en las viviendas, disponible cuando se necesita y libre de contaminación en las Américas. Los resultados indican que:

De 48 países de América, solo 6 reportan datos de agua gestionada de manera segura, para un 12,5%. De estos, se presenta Costa Rica, según OMS/UNICEF, en el quinto lugar con un 90%, por debajo de Martinica, Argentina, EUA y Chile. Además, también Costa Rica ocupa el quinto lugar con un 95% de cobertura libre de contaminación.

En el cuadro 3 si se compara a nuestro país, con las 8 regiones y con la totalidad del mundo, Costa Rica supera con un 98% a todas las regiones, excepto a la de América del Norte y Europa, con un 97% libre de contaminación. No obstante, Costa Rica supera por mucho el dato mundial de 45% con agua libre de contaminación. Con respecto, a la disponibilidad del agua cuando se necesita también, Costa Rica supera a todas las regiones, excepto en este caso la región de Austria y Nueva Zelanda, que tiene un 97% con respecto a nuestro país que aparece con un 90% de disponibilidad de agua, cuando se necesita. En el mundo 41% cumple con este último parámetro.

## Conclusiones

Costa Rica ha sido exitosa en las coberturas de agua potable gestionada de manera segura, en contexto de las naciones, alcanzando un 93,9% en el año 2017 y contituyendo uno de los 6 países de América (12,5%) que reportaron datos de agua libre de contaminación y gestionada de manera segura.

A nivel mundial, Costa Rica superó el dato global del 45% de población abastecida con agua libre de contaminación al alcanzar un 95%, según indica el PCM. Sin embargo, es importante indicar que el dato reportado por el LNA, en el 2015 fue del 91,2%.

## Recomendaciones

Costa Rica debe continuar aplicando las estrategias y acciones mencionadas en este artículo con el fin de alcanzar las metas propuestas para el año 2022 y 2030.

Se recomienda a las naciones del mundo estimar los datos línea base, en las coberturas de agua potable gestionada de manera segura, para lo cual es necesario contar con un Laboratorio Nacional de Aguas, que integre y compile los datos de calidad, continuidad y disponibilidad del agua.

## Referencias

- [1] Naciones Unidas. *Objetivos de Desarrollo del Milenio: Informe del 2015*. Nueva York. EUA; 2015: pág. 1-72.
- [2] OMS. *Agua, Saneamiento y Salud. La meta de los ODM relativa al agua potable y el saneamiento. El reto del decenio para zonas urbanas y rurales*. En [www.who.int/monitoring/jmp,2006](http://www.who.int/monitoring/jmp,2006).
- [3] OMS. *Seguimiento y datos empíricos sobre agua y saneamiento*. Actualización del Programa Conjunto de Monitoreo (JMP). Nueva York; 2017; pág. 1-4.
- [4] OMS. *Definición de Indicadores*. Nueva York; EUA; PDF: [www.who.int/monitoring/evalami...;2018](http://www.who.int/monitoring/evalami...;2018) pág. 1-4.
- [5] Laboratorio Nacional de Aguas. *Programa de Vigilancia y Control de Calidad del Agua para Consumo Humano*. Tres Ríos, La Unión; SA: sp.
- [6] Darner A. Mora; Carlos F. Portuguez. *Situación actual del agua para Consumo Humano y Aguas Residuales en Costa Rica*. San José. Costa Rica. Revista Biocenosis. UNED, Volumen 2, NP; 1991: pág. 74-80.
- [7] Darner A. Mora; Carlos F. Portuguez. *Situación de Cobertura y Calidad del agua para consumo humano en Costa Rica a finales del año 2000*. La Unión, Cartago, Laboratorio Nacional de Aguas; AyA; abril 2001; sp.
- [8] Darner A. Mora; Carlos F. Portuguez. *Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Costa Rica al 2016. Metas al 2002-2030*.
- [9] OMS/JMP/UNICEF. *WASH en la Agenda 2030. Nuevos indicadores a nivel mundial para agua de consumo humano, saneamiento e higiene*. Nueva York. En [hhttps://www.washdata.org](https://www.washdata.org).
- [10] OMS/UNICEF. *Agua potable gestionada de manera segura*. Biblioteca de la OMS; 2017; pág. 1-56.
- [11] Darner A. Mora, Ana V. Mata Solano, Carlos F. Portuguez. *Agua para Consumo Humano y Saneamiento y su relación con indicadores básicos de salud en Costa Rica: Objetivos de Desarrollo del Milenio y la Agenda para el 2030*. Tres Ríos, La Unión, LNA; 2016: pág. 1-19.
- [12] Darner A. Mora; Carlos F. Portuguez. *Agua potable y Saneamiento: Cobertura en viviendas y más allá del Hogar en Costa Rica a 2017*. Tres Ríos, La Unión; LNA: 2018; sp.
- [13] Darner A. Mora; Pablo Rivera Navarro. *Agua para Consumo Humano en Centros de Salud en Costa Rica al 2017*. Tres Ríos, La Unión; LNA;
- [14] Darner A. Mora et al. *Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Centros Educativos de Costa Rica al año 2017*. Tres Ríos, La Unión; 2018: sp.
- [15] UNICEF/OMS. *25 Progresos en materia de saneamiento y agua potable. Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM*. Nueva York. EUA; 2015: pág. 1-80.
- [16] OMS/JMP/UNICEF. *Progresos en Materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene 2017*. Nueva York; EUA; 2018: pág. 1-108.
- [17] Poder Ejecutivo. Costa Rica. *Ley 2726. Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados*. San José. CR; 1961(14 de abril); sp.
- [18] AyA. *Laboratorio Nacional de Aguas: 50 Aniversario*. San José. ISBN.978-9968-9893-2-9; 2013: pág. 1-252.
- [19] SNAA. *Programa Nacional de Acueductos Rurales*.
- [20] AyA. *Programa Nacional para la Prevención y Control del Cólera*. San José: 1991: sp.
- [21] AyA. *Programa Bandera Azul Ecológica*. San José. Acuerdo de Junta Directiva 96-160; 1996: sp.
- [22] Decreto Ejecutivo N°26066-S. *Designación del Laboratorio Central del AyA como Laboratorio Nacional de Aguas*. San José, Gaceta N°100; 1997; sp.
- [23] AyA. *Programa Sello de Calidad Sanitaria*. San José. Acuerdo de Junta Directiva AN-2002-150; 2002: sp.
- [24] Darner A. Mora. *Programa Nacional de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano: 2002-2006*; San José. LNA; 2001: sp.
- [25] Poder Ejecutivo. *Decreto Ejecutivo N°33953-S-MINAE el Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable: 2007-2015*. San José. La Gaceta N°175.
- [26] Poder Ejecutivo. *Decreto Ejecutivo N°38924. Reglamento para la Calidad del Agua Potable*. San José. Gaceta N°170;1 de setiembre del 2015 .
- [27] Ministerio de Salud y AyA. *Directriz para la Implementación de los Planes de Seguridad del Agua*. San José. Directriz N°032-s, Ministerio Salud; 10/01/2018
- [28] AyA. *Política Nacional del Sector de Agua Potable: 2017-2030*. San José; AyA; 2018: pág.1-79.

# Clasificación de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica

## Groundwater sources classification in Costa Rica

Jimena Orozco-Gutiérrez<sup>1</sup>

---

Orozco-Gutiérrez, J. Clasificación de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 138-146.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4887>

1 Unidad de Investigación en Agua, Ambiente y Salud. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: jorozco@aya.go.cr.



## Palabras clave

Fuentes de abastecimiento; pozos; nacientes; manantiales; fuentes subterráneas; potabilización de fuentes.

## Resumen

El agua proveniente de fuentes de abastecimiento requiere de un tratamiento previo para su posterior distribución. La complejidad del proceso de potabilización va a depender de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua. Los criterios vigentes para evaluar las fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales se encuentran desactualizados y no responden a las necesidades de los entes operadores para determinar la factibilidad del uso de nuevas fuentes de abastecimiento. El presente documento busca desarrollar un método para clasificar las potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica, según la dificultad que conlleva su potabilización. Se establecieron cuatro categorías (A, B, C y D) para clasificar potenciales fuentes y se definieron límites para cada parámetro. Cada parámetro relaciona a la fuente con una determinada categoría, en caso de sobrepasarse el límite. Se comparó la clasificación mediante los criterios vigentes y los propuestos para pozos y nacientes: la clasificación vigente responde a criterios de salud y de posible rechazo del agua por los consumidores, pero no evalúa el grado de dificultad para potabilizar la fuente; mientras que la clasificación propuesta, responde a las necesidades de los entes operadores, brindando una herramienta para poder valorar el ingreso de una nueva fuente al sistema de abastecimiento. La evaluación de la viabilidad de las fuentes requiere de información adicional, como la medición del caudal y su vulnerabilidad, disponibilidad de otras fuentes, la oferta y demanda del servicio de abastecimiento, entre otras.

## Keywords

Drinking water sources; groundwater; wells; spring waters; water purification.

## Abstract

Groundwater sources require previous treatment. Complexity of water purification depends on microbiological and physical-chemical properties of water. The current groundwater classification guidelines are out-of-date, and they do not respond to the aqueduct operators' needs to determine whether using new groundwater sources is feasible. This document aims to develop a method for classifying potential groundwater sources in Costa Rica according to their complexity for treating and purifying drinking water. This work established four categories (A, B, C and D) for classifying potential groundwater sources, along with the maximum limits allowed for each parameter. The failure to comply with these limits links the source to a specific category that varies depending on the parameter. Comparison was made between the former guidelines and those proposed in this document: former guidelines respond to health assessment and possible water rejection due to its aesthetics features, whereas the guidelines proposed respond to aqueduct operators' requirements giving them tools to assess feasibility of potential groundwater sources. Additional information is required to determine the start-up of groundwater sources, i.e., flow rate measurement and vulnerability, water availability, and supply and demand.

## Introducción

El término fuentes de abastecimiento o aprovechamiento, hace referencia a las aguas de dominio público definidas en el Artículo 1 de la Ley de Aguas [1]. En Costa Rica, las fuentes de abastecimiento se dividen en tres tipos:

- Aprovechamiento subsuperficial, naciente o manantial: 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 [2].
- Aprovechamiento subterráneo 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 [2].
- 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 [2].

El agua proveniente de fuentes de abastecimiento requiere de un tratamiento previo para su posterior distribución. La complejidad del proceso de potabilización va a depender de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua. Cuando se evalúa la viabilidad de potenciales fuentes, además de la calidad del agua, se toman en cuenta otros factores de caracterización de las fuentes como la medición y vulnerabilidad del caudal, además de la oferta y demanda de agua.

La clasificación de fuentes superficiales se realiza actualmente de acuerdo al Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales [2]. En el caso de las fuentes subterráneas y subsuperficiales, no existe en Costa Rica un documento legal en el cual se clasifiquen estas fuentes de acuerdo a la calidad del agua. Seis años atrás, profesionales del Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) elaboraron el documento titulado “Actualización de los Criterios de Calidad de Aguas de Pozos y Nacientes para Potabilización en Costa Rica 2012” [3], con el fin de evaluar la calidad del agua de este tipo de aprovechamientos. Sin embargo, estos criterios se encuentran desactualizados y no responden a las necesidades de los entes operadores para determinar la factibilidad del uso de nuevas fuentes de abastecimiento.

El presente documento busca crear una herramienta que ayude a identificar la complejidad de los procesos requeridos para la potabilización de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica. El objetivo es desarrollar un método para clasificar las potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica, según la dificultad que conlleva su potabilización, basándose en los parámetros de calidad del agua.

## Metodología

Para definir las categorías de fuentes de abastecimiento se analizaron los distintos procesos de potabilización utilizados con éxito en el país, los principales contaminantes y demás problemas del agua encontrados en fuentes subterráneas o subsuperficiales. Seguidamente, se agruparon los parámetros que requerían un tratamiento de potabilización similar, y se analizó la complejidad

del tratamiento, en términos de inversión, costo de operación y mantenimiento, requerimiento de personal especializado, tecnología y conocimiento técnico disponible en el país.

Los parámetros utilizados para clasificar las fuentes de abastecimiento son los establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable [4] en los niveles 1, 2 y 3; con la excepción del cloro residual libre, ya que éste es añadido como parte del proceso de desinfección y no es propio del agua proveniente de las fuentes. Se incluyó el parámetro sólidos disueltos, tal como se propone en el estudio denominado Interpretación de Calidad de Agua para Casos con Potencial Intrusión Salina [5], elaborado por funcionarios del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Los análisis de plaguicidas y de cianuro son requeridos para clasificar las fuentes, solo cuando la inspección sanitaria de la fuente indique que existe riesgo de contaminación.

## Resultados y discusión

Se establecieron cuatro categorías (A, B, C y D) para clasificar potenciales fuentes de abastecimiento, basadas en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Los límites establecidos para cada parámetro se basaron en el reglamento [4], el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano [6] y las Guías para la Calidad del Agua Potable [7]. Por lo tanto, no todos los límites establecidos coinciden con el valor máximo admisible (VMA) definidos en el reglamento [4]. En el Cuadro 1 se detallan las categorías de las fuentes de abastecimiento y en el Cuadro 2 se muestran los parámetros empleados para clasificar las fuentes.

Cada parámetro relaciona a la fuente de abastecimiento con una determinada categoría, en caso de sobrepasarse el límite establecido del parámetro. Cuando más de un parámetro sobrepasa el límite establecido, la categoría que prevalece es la más baja; siendo la Categoría A la más alta y la Categoría D la más baja. Por ejemplo, si una fuente presenta coliformes fecales (Categoría B) y concentraciones elevadas de arsénico (Categoría C), la fuente se considera de Categoría C.

A continuación, se describen las cuatro categorías:

### Categoría A

Se considera de Categoría A cuando ninguno de los parámetros evaluados presente valores por encima de los límites establecidos. El Reglamento para la Calidad del Agua Potable [4] exige la cloración del agua como requisito para ser suministrada a la población, independientemente de si se detecte contaminación microbiana.

### Categoría B

Se considera de Categoría B cuando se detecte la presencia de coliformes fecales, mientras que el resto de los parámetros permanezcan por debajo del límite establecido. Este parámetro es un indicador de posible contaminación fecal, ya sea por aguas residuales domésticas o desechos de animales.

El Reglamento para la Calidad del Agua Potable [4] establece en el artículo 17 el uso de cloro como agente desinfectante, con el fin de mantener un residual de cloro libre, de (0,3-0,6) mg/L, que garantice la calidad del agua ante eventuales contaminaciones microbiológicas en la red de distribución. La función principal de la cloración es reducir la carga microbiana y prevenir posibles cuadros clínicos asociados a la presencia de patógenos. La dosificación del cloro varía en función de la concentración de coliformes fecales, turbiedad, volumen del agua y concentraciones de agentes reductores, como hierro o manganeso.

### Categoría C

Se considera de Categoría C cuando alguno de los siguientes parámetros supere el límite establecido: turbiedad, color aparente, arsénico, aluminio, pH, hierro, manganeso y amonio; mientras que el resto de los parámetros permanezcan por debajo del límite establecido, con la excepción de coliformes fecales, que podrían o no estar presentes en concentraciones superiores al límite establecido.

Los procesos de remoción de los parámetros de esta categoría han sido ampliamente trabajados en el país por el AyA. La institución cuenta con la tecnología y conocimiento necesario para una eficiente remoción de estos compuestos, al igual que para neutralizar el pH del agua y reducir los valores de turbiedad y color aparente.

Cuando se detecten en la misma muestra valores elevados de color aparente y turbiedad, se parte del supuesto de que el color aparente se debe a las partículas dispersas que generan turbiedad; y si la muestra presenta altas concentraciones de hierro y manganeso, el color puede deberse a estos metales disueltos en el agua (color verdadero).

### Categoría D

Se considera de Categoría D cuando alguno de los parámetros del Cuadro 2, que no han sido mencionados en las categorías anteriores, supere el límite establecido: antimonio, cadmio, calcio, cianuro, cloruros, cobre, conductividad, cromo, dureza total, fluoruros, magnesio, mercurio, níquel, nitratos, nitritos, plaguicidas, plomo, selenio, sólidos disueltos, sulfatos y zinc. Siempre y cuando esta primera condición se cumpla, resulta indiferente si los parámetros mencionados en las categorías anteriores (coliformes fecales, turbiedad, color aparente, hierro, manganeso, amonio, arsénico, aluminio y pH) sobrepasan los límites establecidos.

Los procesos de remoción de los contaminantes de esta categoría son muy diversos, pero coinciden en que el país carece de experiencia y tecnología debidamente implementada en sistemas de abastecimiento para su tratamiento. En esta categoría se incluyen los problemas por contaminantes nocivos para la salud (metales pesados, fluoruros, nitratos, plaguicidas, hidrocarburos, entre otros), indicadores de presencia de agua salobre o salada (conductividad y sólidos disueltos totales) y contaminantes que modifican la estética del agua (calcio, magnesio, sulfatos, entre otros).

### Lineamientos para clasificar fuentes subterráneas y subsuperficiales

- Las muestras de agua provenientes de pozos recién perforados deben ser recolectadas después de un bombeo continuo de mínimo 48 horas y como óptimo de 72 horas.
- La clasificación pretende ser utilizada, tanto por el personal del LNA, como por los entes operadores de los distintos acueductos.
- La clasificación de las fuentes se podrá hacer a partir de reportes puntuales y de análisis periódicos. Para el caso de los análisis periódicos, se utilizarán los promedios aritméticos de los parámetros fisicoquímicos y promedios geométricos de los parámetros microbiológicos.
- Los parámetros de significado para la salud del Nivel 4 del reglamento [4], como el caso de los plaguicidas y el cianuro, son monitoreados dependiendo del resultado de las inspecciones sanitarias emitidas por el Ministerio de Salud; solo son utilizados para la clasificación de las fuentes en caso de existir riesgo de contaminación.



**Cuadro 1.** Clasificación de las potenciales fuentes de abastecimiento.

Categorías	Parámetros que incumplen límite establecido. [1]	Recomendaciones
Categoría A	Agua apta para el consumo humano. Ningún parámetro incumple el límite establecido.	Aplicar tratamiento de desinfección para prevenir eventuales contaminaciones.
Categoría B	Presencia de coliformes fecales.	Se requiere aplicar tratamiento de desinfección. [2]
Categoría C	Valores superiores al límite establecido de parámetros con casos de éxito de remoción en Costa Rica: turbiedad, color aparente, arsénico, aluminio, pH, hierro, manganeso y amonio. [3]	Requiere diluir con otras fuentes, buscar fuentes alternativas o aplicar tratamiento; considerar el caudal de la fuente, disponibilidad de otras fuentes y demanda de la población.
Categoría D	Valores superiores al límite establecido de parámetros sin experiencia de remoción en Costa Rica: antimonio, cadmio, calcio, cianuro, cloruros, cobre, cromo, dureza total, fluoruros, magnesio, mercurio, níquel, nitratos, nitritos, plaguicidas, plomo, selenio, sólidos disueltos totales, sulfato y zinc. [4]	Dependiendo del contaminante requiere buscar fuentes alternativas, diluir con otras fuentes o aplicar tratamiento; considerar el caudal de la fuente, disponibilidad de otras fuentes y demanda de la población.

- (1) En el cuadro 2 se enumeran los parámetros evaluados con su respectivo límite establecido por los autores del presente documento; el límite de cada parámetro no necesariamente coincide con el valor máximo admisible (VMA) del Reglamento para la Calidad del Agua Potable [4].
- (2) Todo proceso de potabilización incluye una etapa final de desinfección por cloración; la dosificación del cloro varía en función de la concentración de coliformes fecales, turbiedad, concentraciones de agentes reductores y volumen del agua.
- (3) Existen casos de éxito de remoción de estos parámetros en Costa Rica, el AyA ya ha implementado soluciones eficientes de potabilización. La información se puede consultar en las Hojas Técnicas Conceptuales elaboradas por el Área Funcional de Investigación Aplicada de la UEN de Investigación y Desarrollo del AyA.
- (4) Existe poca experiencia en Costa Rica para la remoción de estos parámetros.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 2.** Ámbitos de parámetros y niveles de calidad del agua de las fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales.

Parámetro	Límite establecido [1]	Categoría por incumplimiento [2]
Aluminio (µg/L)	200	Categoría C
Amonio (mg/L)	0,50	Categoría C
Antimonio (µg/L)	5,0	Categoría D
Arsénico (µg/L)	10,0	Categoría C
Cadmio (µg/L)	3,0	Categoría D
Calcio (mg/L)	100	Categoría D
Cianuro (mg/L)	0,07	Categoría D
Cloruros (mg/L)	250	Categoría D
Cobre (µg/L)	2 000	Categoría D

Continúa...

Continuación

Parámetro	Límite establecido [1]	Categoría por incumplimiento [2]
Coliformes fecales [3]	< 1 NMP/100 mL <1 UFC/100 mL	Categoría B
Color aparente (U-Pt-Co)	15	Categoría C
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1 000	Categoría D
Cromo ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	50	Categoría D
Dureza total (mg/L)	400	Categoría D
Fluoruros (mg/L)	1,50	Categoría D
Hierro ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	300	Categoría C
Magnesio (mg/L)	50	Categoría D
Manganeso ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) [4]	50	Categoría C
Mercurio ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	1,0	Categoría D
Níquel ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	21	Categoría D
Nitratos (mg/L)	50	Categoría D
Nitritos (mg/L)	0,10	Categoría D
pH	$5,50 \leq x \leq 8,50$	Categoría C
Plaguicidas	VMA	Categoría D
Plomo ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	10,0	Categoría D
Selenio ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	10,0	Categoría D
Sólidos disueltos totales (mg/L) [5]	1 000	Categoría D
Sulfatos (mg/L)	250	Categoría D
Turbiedad (UNT)	5	Categoría C
Zinc ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	3 000	Categoría D

- (1) Los límites fueron establecidos por los autores del presente documento; el límite de cada parámetro no necesariamente coincide con el valor máximo admisible (VMA) del Reglamento para la Calidad del Agua Potable [4].
- (2) Se considera incumplimiento cuando los valores del parámetro superan el límite establecido; con la excepción del pH que establece un ámbito, fuera del ámbito se considera incumplimiento.
- (3) Un resultado Negativo se interpreta como un valor menor al límite establecido. Se aplica una de las tres técnicas de laboratorio: filtración por membrana, técnica de tubos múltiples y técnica de sustrato definido.
- (4) Límite basado en los niveles máximos de contaminantes secundarios de definidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y en la normativa alemana.
- (5) Se supone una concentración constante de 70 mg/L de sílice para evaluar los sólidos disueltos totales, propuesta en el estudio denominado Interpretación de Calidad de Agua para Casos con Potencial Intrusión Salina (Lazo & Solís, 2018).

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

### Comparación entre los criterios de evaluación de fuentes

Se comparó la clasificación obtenida mediante los criterios vigentes y los propuestos en el presente documento, para cinco pozos y cinco nacientes evaluadas durante el 2018. La

clasificación vigente responde a criterios de salud y de posible rechazo del agua por los consumidores, pero no evalúa el grado de dificultad para potabilizar la fuente; mientras que la clasificación propuesta, busca responder a las necesidades de los entes operadores, brindando una herramienta para poder valorar el ingreso de una nueva fuente al sistema de abastecimiento. En el cuadro 3 se observa la comparación entre los dos criterios de clasificación aplicados a las cinco nacientes y los cinco pozos.

**Cuadro 3.** Comparación de los criterios de evaluación de potenciales fuentes de abastecimiento propuestos vs. los criterios vigentes.

Fuentes de abastecimiento		Evaluación criterios vigentes [1]	Evaluación criterios propuestos
Naciente F1 Boruca	AYA-ID-00498-2018	Calidad regular	Categoría C
Naciente F2 Boruca	AYA-ID-00499-2018	Calidad buena	Categoría B
Naciente F3 Boruca	AYA-ID-00500-2018	Calidad regular	Categoría B
Naciente F8 Boruca	AYA-ID-00501-2018	Calidad regular	Categoría D
Naciente La Margarita	AYA-ID-00733-2018	Calidad mala	Categoría C
Pozo Trancas 3 Papagayo	AYA-OT-02706-2018	Calidad buena	Categoría C
Pozo 3 San Lucas	AYA-OT-00497-2018	Calidad regular	Categoría D
Pozo Las Delicias de Cóbano	AYA-ID-01831-2018	Calidad excelente	Categoría A
Pozo Crucitas Cutris	AYA-ID-04139-2018	Calidad regular	Categoría C
Pozo Guápiles 18-08	AYA-ID-12017-2018	Calidad excelente	Categoría C

(1) Actualización de los Criterios de Calidad de Aguas de Pozos y Nacientes para Potabilización en Costa Rica 2012 [3].

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

## Conclusiones

La clasificación propuesta en el presente documento responde a las necesidades de los operadores de acueductos, para poder clasificar las fuentes de abastecimiento, de acuerdo a la complejidad del tratamiento de potabilización.

## Recomendación

La evaluación de la viabilidad de las fuentes de abastecimiento requiere de información adicional, como la medición del caudal y su vulnerabilidad, disponibilidad de otras fuentes de abastecimiento, la oferta y demanda del servicio de abastecimiento, entre otras.



## Referencias

- [1] Ley N°276, *Ley de Aguas*, La Uruca, San José: Diario Oficial La Gaceta, 1942.
- [2] S. Romero, Interviewee, *Geógrafo de la UEN de Gestión Ambiental del AyA*. [Entrevista]. 07 abril 2016.
- [3] Decreto Ejecutivo N°33903-MINAE-S, *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*, La Uruca, San José: En Diario Oficial La Gaceta N°178-7 pág, 2007.
- [4] D. Mora, A. V. Mata y M. A. Sequeira, «Actualización de los criterios de calidad de aguas de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica 2012.,» Laboratorio Nacional de Aguas, Tres Ríos, Costa Rica, 2012.
- [5] Decreto Ejecutivo N° 38924-S, *Reglamento para la Calidad del Agua Potable*, La Uruca, San José: Diario Oficial La Gaceta, 2015.
- [6] A. Lazo y Y. Solís, *Interpretación de Calidad de Agua para Casos con Potencial Intrusión Salina*, San José, 2018.
- [7] D. Mora, J. Orozco, Y. Solís, P. Rivera, D. Cambronero, L. A. Zúñiga y J. García, «Índice de Riesgo para Calidad del Agua de Consumo Humano (IRCACH),» *Tecnología en Marcha*, vol. 31, n° 3, Septiembre 2017.
- [8] OMS, «Guidelines for Drinking-water Quality,» Cuarta ed., Ginebra, Suiza, 2011.
- [9] EPA, *Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals*, 2017.

# Determinación de As(III) y As(V) en los pozos de las plantas de remoción de arsénico de Costa Rica

## Determination of As(III) and As(V) in the wells of the arsenic removal plants in Costa Rica

Betzabel Arias-Barrantes<sup>1</sup>, Azucena Urbina-Campos<sup>2</sup>,  
Ana Lorena Alvarado-Gómez<sup>3</sup>

---

Arias-Barrantes, B; Urbina-Campos, A; Alvarado-Gómez, A. Determinación de As(III) y As(V) en los pozos de las plantas de remoción de arsénico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág. 147-157.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4888>



- 1 Sección de química de agua potable, Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: bearias@aya.go.cr.
- 2 Sección de química de agua potable, Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: aurbina@aya.go.cr.
- 3 Profesora Catedrática, Escuela de Química, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: alagamez@yahoo.com.

## Palabras clave

Aguas de consumo, arsénico; arsenito; arseniato; arsénico soluble; arsénico particulado; espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo; estados de oxidación; intercambio aniónico.

## Resumen

Se realizó la separación y cuantificación del arsénico soluble, particulado, As(III) y As(V) en los pozos de las seis plantas de remoción de arsénico operadas por AyA en Guanacaste y Alajuela: Bebedero de Cañas, Montenegro y Agua Caliente, Falconiana y Quintas Don Miguel en el cantón de Bagaces y Santa Cecilia de El Amparo y Cristo Rey en Los Chiles. Se empleó la espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) así como cromatografía de intercambio aniónico (CIA) con resina Dowex 1-X8 de 50 a 100 mallas. Se validó la metodología obteniendo las siguientes figuras de mérito: límite de detección 0,1 µg/L, límite de cuantificación 0,2 µg/L, veracidad de diferentes fracciones y mezclas entre (97-104) %, con coeficientes de variación entre (0,9-12,8) % con coeficientes de variación entre (0,9-12,8) %, así como una repetibilidad de 0,2% y una repetibilidad intermedia de 0,3% (n=7). Se efectuaron ocho muestreos mensuales y en los seis pozos prevalece el arsénico soluble sobre el particulado. En todos los pozos guanacastecos y en Cristo Rey de Los Chiles predomina As(V) sobre As(III), siendo el As(III) no detectable, detectable o en concentraciones ligeramente superiores al límite de cuantificación. En el caso de Santa Cecilia de El Amparo, hay mezcla de As(III) y As(V) en razones de concentraciones muy similares y predominando uno sobre otro dependiendo del muestreo. Además este pozo es el que posee menor concentración de oxígeno disuelto (1,5 mg/L), mientras que los restantes pozos tienen concentraciones superiores.

## Keywords

Drinking water; arsenic; arsenite; arsenate; soluble arsenic; particulate arsenic; inductively coupled plasma mass spectrometry; oxidation states; anion exchanged

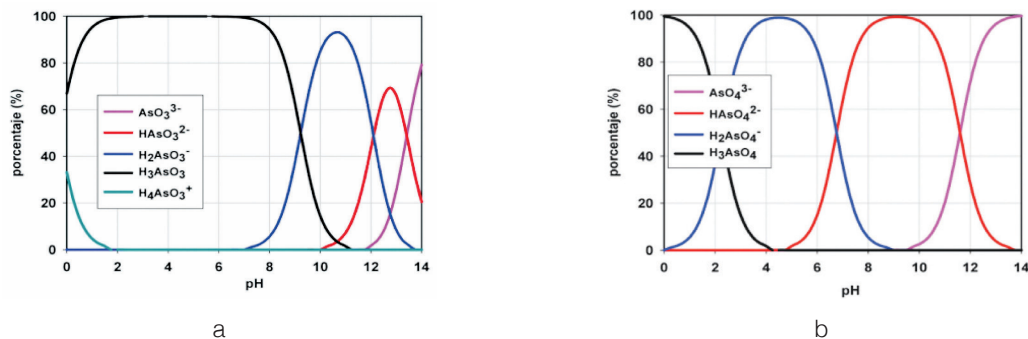
## Abstract

Separation and quantification of soluble and particulate arsenic and As(III) and As (V) were carried out in the wells of six arsenic removal plants operated by AyA in Guanacaste and Alajuela: Bebedero de Cañas, Montenegro and Agua Caliente, Falconiana and Quintas Don Miguel in Bagaces and Santa Cecilia de El Amparo and Cristo Rey in Los Chiles. Inductively coupled plasma mass spectrometry and anion exchange chromatography with Dowex 1-X8 resin were used for this analysis. The methodology was validated, obtaining the following figures of merit: detection limit 0,1 µg/L, quantification limit 0,2 µg/L, veracity as recoveries of different fractions and mixtures between (97-104) %, with variation coefficient between (0,9-12,8) %, as well as repeatability 0,2 % and intermediate repeatability of 0,3 % (n=7). Eight samples were taken monthly which indicated that in the six wells soluble arsenic prevails on the particulate arsenic. On the other hand, in all the Guanacaste wells and in Cristo Rey de Los Chiles predominates As(V) than As(III), As(III) being undetectable, detectable or in concentrations slightly higher than quantification limit. In the case of Santa Cecilia de El Amparo, there is a mixture of As(III) and As(V) in very similar proportion and predominating one over another depending on the sampling. In addition, this well has the lowest concentration of dissolved oxygen (1,5 mg/L), whereas the remaining wells present higher concentrations.

## Introducción

El arsénico está presente en el agua como un oxianión y tiene dos estados de oxidación mayoritarios en la naturaleza: el arsenito o As(III) y el arseniato o As(V). Estas dos especies están en la fracción soluble del arsénico, por lo que la filtración de las muestras con un filtro de membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  permite separar el arsénico particulado del arsénico disuelto en el agua.

Generalmente, en ambientes oxidantes prevalece el As(V), el cual hidroliza como ácido arsénico, ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ). Sus correspondientes productos de disociación son:  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ,  $\text{HAsO}_4^{2-}$  y  $\text{AsO}_4^{3-}$ . En ambientes bajo condiciones reductoras prevalece el As(III) que hidroliza como ácido arsenioso, ( $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ). Sus correspondientes productos de disociación son:  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ ,  $\text{HAsO}_3^{2-}$  y  $\text{AsO}_3^{3-}$  [1], [2]. En el ámbito de pH de las aguas naturales, el arsénico +5 se encuentra cargado negativamente mientras que el arsénico +3 es una especie neutra, por eso no se retiene en cromatografía de intercambio aniónico [4], [5]. La figura 1 presenta los diagramas de solubilidad para las especies As(III) y As(V) según el pH del medio.



**Figura 1.** Diagrama de solubilidad para el a) As(III) y b) As(V) según el pH del agua [3]

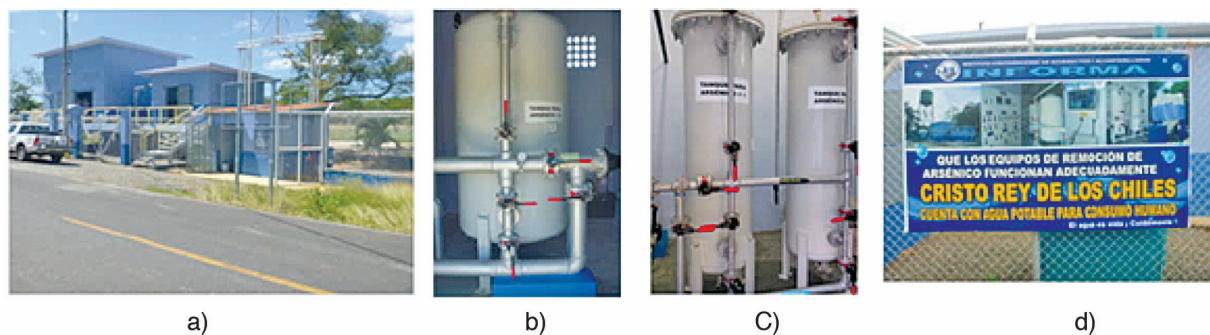
Sin embargo, algunas aguas subterráneas pueden tener solamente As(III), otras sólo As(V), o bien, presentar una combinación de ambos estados de oxidación [4] ya que esto también depende del ambiente geoquímico de las aguas [5].

La cuantificación de arsenito y arseniato en el agua es fundamental para interpretar la toxicidad y movilidad del arsénico en el ambiente, ya que el arsenito es más tóxico que el arseniato [6], pues se bioacumula de forma distinta al arsénico pentavalente [7]. Desde el punto de vista de remediación, aporta valiosa información sobre la tecnología de remoción más apropiada porque es más complejo la remoción del arsenito [3].

En el año 2014, el AyA instaló seis plantas de remoción de arsénico empleando la tecnología de adsorción – filtración en: Bebedero de Cañas, Falconiana, Montenegro y Quintas Don Miguel en Bagaces, Cristo Rey y Santa Cecilia de El Amparo en Los Chiles (véase la figura 2).

En estos lugares, las concentraciones de arsénico superaban los 10  $\mu\text{g/L}$ , siendo éste, el valor máximo admisible (VMA) según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica (Decreto N° 38924-S) [8] y la OMS [8], [9]. La presencia del arsénico es de origen natural y se le relaciona con fallas geológicas en las zonas e hidrotermalismo [10].

El objetivo de este trabajo es ejecutar y validar un método analítico para separar y cuantificar As(III) y As(V) en las aguas de los pozos de las plantas de remoción de arsénico mediante la cromatografía de intercambio aniónico y la espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo.



**Figura 2.** a) Planta de remoción de arsénico en Bebedero b) Filtro presurizado en Bebedero, c) Filtro presurizado en Falconiana, d) Cartel informativo en Cristo Rey.

## Metodología

El desarrollo de la investigación estuvo dividido en 5 fases:

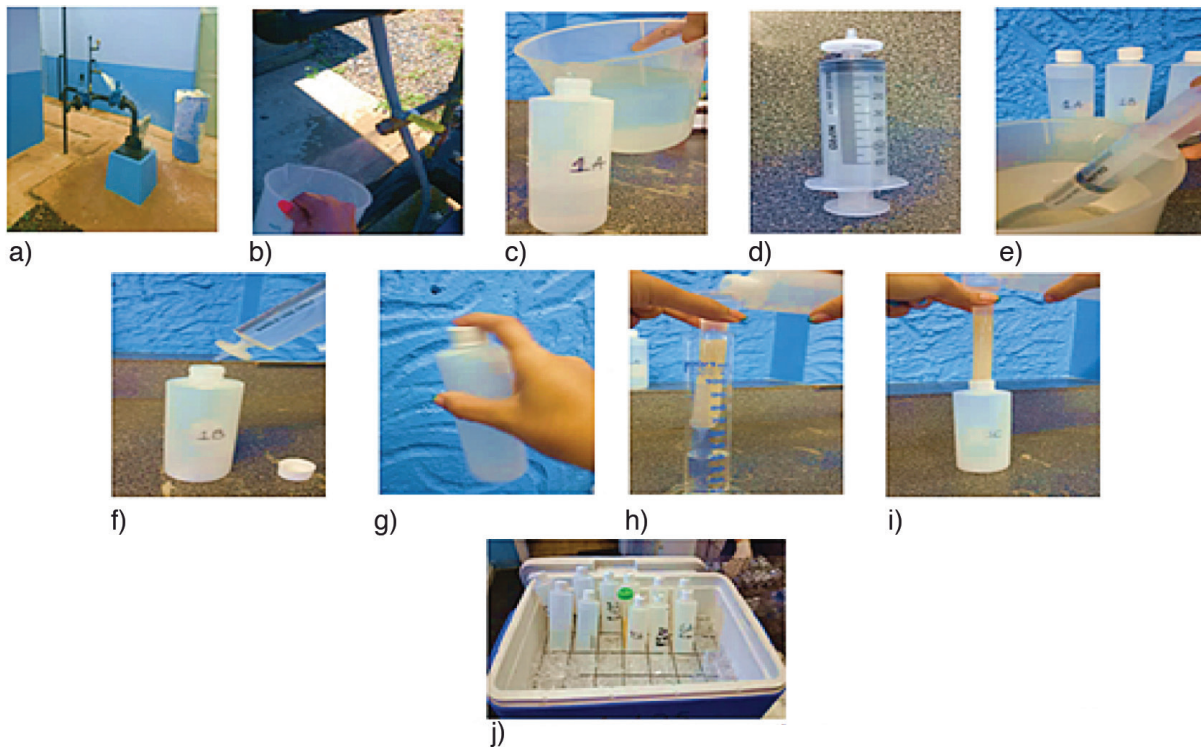
1. Optimización de ICP-MS según las especificaciones de Agilent Technologies para ICP-MS modelo 7700 [11].
2. Optimización de las columnas cromatográficas de intercambio aniónico a partir de una simulación del procedimiento de separación con diferentes mezclas de As(III) y As(V) en agua sintética. Se trabajó en dos ámbitos de concentración: En ámbito alto los niveles de concentración fueron de 50,0  $\mu\text{g/L}$  y 25,0  $\mu\text{g/L}$  y en ámbito bajo a 5,0  $\mu\text{g/L}$  y en ausencia de As(III) y As(V) realizando siete repeticiones de cada mezcla para evaluar recuperaciones.
3. Validación de la metodología.
4. Muestreo y separación de las formas arsenicales en el campo.
5. Cuantificación en el laboratorio mediante ICP-MS y tratamiento de resultados.

Para la preparación de la resina y la separación de las distintas especies arsenicales se siguió el procedimiento descrito en [12].

El procedimiento de separación de las especies se resume en la figura 3: a) se abre la llave de chorro del pozo, b) se toma muestra de agua del pozo, c) se recolecta en la botella A parte de la muestra y se preserva con 0,5 mL de ácido nítrico grado traza metal al 70% (arsénico total), d) se acopla el filtro de 0,45 $\mu\text{m}$  a la jeringa previamente enjuagada con la muestra, e) cuidadosamente se introduce la jeringa en el beaker que contiene la muestra para filtrarla, f) se recolecta la muestra filtrada en la botella B (arsénico soluble) y se preserva con 1,3 mL de ácido sulfúrico traza metal al 5%, g) la botella B se agita vigorosamente para mezclar con el ácido adicionado, h) se pasa 40 mL de la muestra de la botella B a través de la columna para lavar la resina, i) se recolecta aproximadamente 20 mL de la muestra tratada en la resina en la botella C (arsenito) y se preserva con 1 gota de ácido nítrico grado traza metal al 70%, j) se transportan las muestras en hielo.

Las concentraciones de las tres muestras se cuantificaron en ICP-MS y por diferencia, se obtuvieron las concentraciones de arsénico particulado (retenido en el filtro) y arseniato (retenido en la columna). Cabe resaltar que en cada gira se hizo duplicado el procedimiento por pozo y que los resultados de cada muestreo corresponden al promedio.





**Figura 3.** Resumen del procedimiento de separación de las especies arsenicales.

## Resultados y discusión

### Validación

En el cuadro 1 se presentan las figuras de mérito obtenidas en la validación de la metodología, esto se realizó según lo establecido en la EURACHEM [13].

**Cuadro 1.** Figuras de mérito para la determinación de arsénico total por ICP-MS

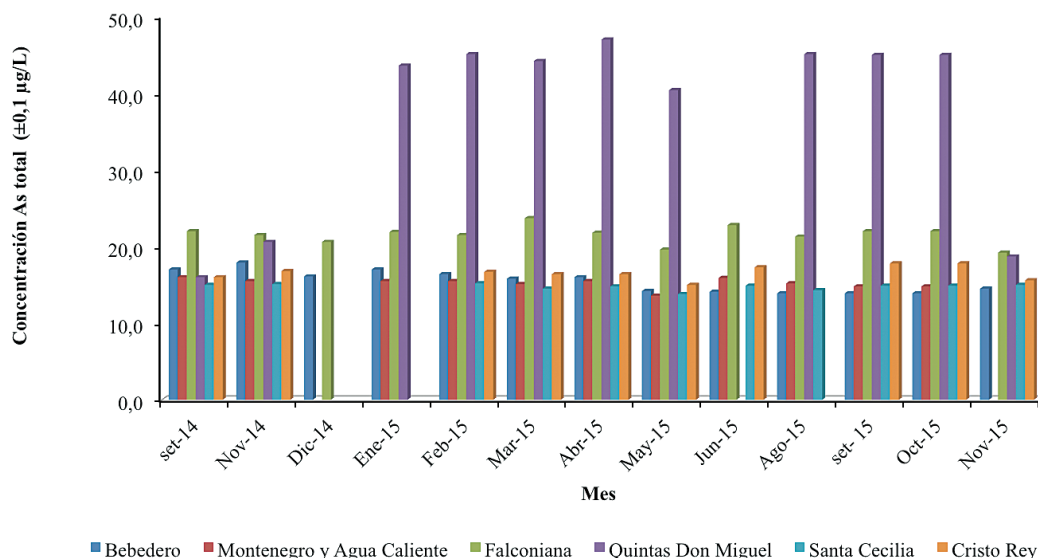
Límite de detección	0,1 µg/L
Límite de cuantificación	0,2 µg/L
Repetibilidad	0,2 %
Repetibilidad intermedia	0,3 %
Veracidad, % de recuperación	97 % - 104 %

### Concentración de arsénico total en los seis pozos

La concentración de arsénico total de los pozos de cinco de las plantas (Bebedero, Montenegro y Agua Caliente, Falconiana, Santa Cecilia y Cristo Rey) oscilaron en el ámbito de  $(13,1 \pm 0,1)$  µg/L y  $(23,7 \pm 0,1)$  µg/L en todo el periodo de muestreo. Ver figura 4.

El pozo de Quintas Don Miguel tuvo la mayor concentración de arsénico total. De setiembre a diciembre de 2014 la concentración estuvo entre  $(16,0 \pm 0,1)$  µg/L y  $(20,0 \pm 0,1)$  µg/L. Sin

embargo, en enero del 2015 la concentración aumentó un 47,2 % pues se cuantificó  $(43,6 \pm 0,1) \mu\text{g/L}$  de arsénico total. Para octubre del 2015, la concentración en dicho pozo disminuyó a  $(36,6 \pm 0,1) \mu\text{g/L}$  y en noviembre del mismo año, la concentración descendió nuevamente hasta  $(19,2 \pm 0,1) \mu\text{g/L}$ .



**Figura 4.** Concentración de arsénico total en los pozos de las seis plantas de remoción de arsénico de septiembre del 2014 a noviembre del 2015.

### Arsénico particulado y soluble en los pozos

En el cuadro 2, se muestra que las concentraciones de arsénico particulado no superaron el 9,0 % de las concentraciones de arsénico total, por lo que muy poco arsénico está de forma particulada, o bien, retenido en el filtro de  $0,45 \mu\text{m}$ .

**Cuadro 2.** Porcentaje de arsénico total presente como arsénico particulado en los pozos de las plantas de remoción de arsénico en el año 2015

Arsénico total como arsénico particulado (%)								
Pozo / mes	Feb	Mar	Abr	May	Ago	Set	Oct	Nov
Bebedero	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2,2	N.D.	N.D.	3,4
Montenegro y Agua Caliente	2,0	0,6	1,3	N.D.	0,7	N.D.	N.D.	-
Falconiana	N.D.	6,3	3,6	2,8	N.D.	N.D.	2,0	6,3
Quintas DM	N.D.	N.D.	2,5	-	0,9	N.D.	0,3	0,5
Santa Cecilia	4,6	1,3	1,3	3,6	0,4	3,2	4,6	6,0
Cristo Rey	N.D.	N.D.	3,0	9,0	-	0,6	N.D.	8,7

N.D.: No detectable

**Cuadro 3.** Porcentaje de arsénico total presente como arsénico soluble en los pozos de las plantas de remoción de arsénico en el año 2015.

Arsénico total como arsénico soluble (%)								
Pozo / mes	Feb	Mar	Abr	May	Ago	Set	Oct	Nov
Bebedero	100	100	100	100	97,8	100	100	96,6
Montenegro y Agua Caliente	98,0	99,4	98,7	100	99,3	100	100	*
Falconiana	100	93,7	96,4	97,2	100	100	100	93,7
Quintas DM	100	100	97,5	-	99,0	100	100	99,5
Santa Cecilia	95,4	98,7	98,7	96,4	99,6	96,8	96,8	94,0
Cristo Rey	100	100	97,0	91,0	*	99,4	99,4	91,1

\*No se tomó muestra pues no había bombeo al momento de la visita.

Por lo tanto, el arsénico en los seis pozos se encuentra mayoritariamente en su forma disuelta, como se muestra en el cuadro 3. El porcentaje de arsénico soluble representó entre el 91 % el 100% del arsénico total cuantificado.

### Concentración de arsenito y arseniato

En los cuatro muestreos que comprenden la época seca, solamente en marzo del 2015 se detectó arsenito en el pozo de Quintas Don Miguel. La concentración de arsenito fue no detectable en los pozos de las cuatro plantas ubicadas en la provincia de Guanacaste (Bebedero, Montenegro y Agua Caliente, Falconiana y Quintas Don Miguel), por lo que todo el arsénico soluble de estos pozos se encontraba como As(V).

En Santa Cecilia de El Amparo fue posible la cuantificación de arsenito y en febrero de 2015 se obtuvo la concentración más alta de As(III) de la época seca: (10,0 µg/L). En marzo y abril del 2015, la concentración de arsenito se mantuvo constante: (8,3 ± 0,1 µg/L) y (8,4 ± 0,1 µg/L), respectivamente, y en mayo disminuyó a (5,8 ± 0,1) µg/L. Por su parte, en el pozo de Cristo Rey, la concentración de arsenito corresponde al límite de detección en el mes de febrero de 2015, mientras que de marzo a mayo del mismo año, solo fue posible su detección, pero no su cuantificación.

Para los muestreos de la época de lluvia, fue posible la detección y cuantificación de arsenito en los pozos de Bebedero, Montenegro y Agua Caliente y Falconiana. En Montenegro y Agua Caliente sólo pudo detectarse As(III) de agosto a noviembre de 2015, mientras que en Falconiana se presentó una situación similar, a excepción del mes de octubre, donde la concentración de arsenito fue igual al límite de cuantificación (0,2 µg/L).

En Bebedero y Quintas Don Miguel se obtuvieron concentraciones no detectables, detectables y de hasta (0,4 ± 0,1) µg/L. En el caso específico de Santa Cecilia se continuó cuantificando arsenito en toda la época: de (6,9 ± 0,1 µg/L) a (8,7 ± 0,1) µg/L y en Cristo Rey la concentración de arsenito estuvo entre el límite de detección y (0,3 ± 0,1) µg/L.

Como se muestra en los cuadros 4 y 5, en todos los pozos prevalece el arseniato sobre el arsenito a excepción de Santa Cecilia de El Amparo. En los ocho muestreos, la concentración de arsenito y arseniato fluctuó mes a mes en esa zona, ya que en los primeros tres muestreos hay prevalencia del arseniato sobre el arsenito (superior al 57,5 %). En el mes de mayo se

reduce la concentración de arsenito por lo que el arseniato se encuentra como estado de oxidación mayoritario (60,9 %). Entre agosto y noviembre de 2015, la concentración de arsenito incrementó nuevamente y osciló entre 48,9 % y el 57,6 % del arsénico soluble de dicho pozo.

**Cuadro 4.** Porcentaje de arsénico soluble presente como As(III) en el agua de los pozos de las plantas de remoción de arsénico en el año 2015.

Arsénico soluble como As(III) (%)								
Pozo/mes	Feb	Mar	Abr	May	Ago	Set	Oct	Nov
Bebedero	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,3	1,5	N.D.
Montenegro y Agua Caliente	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,7	0,7	1,0	*
Falconiana	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,5	0,5	1,0	1,0
Quintas DM	N.D.	0,2	N.D.	*	N.D.	0,5	0,9	N.D.
Santa Cecilia	68,5	57,6	57,5	39,7	54,2	57,6	50,4	48,9
Cristo Rey	1,2	0,6	0,6	0,6	*	1,1	2,0	0,7

N.D.: No detectable \*No se tomó muestra por no haber bombeo en el momento del muestreo.

**Cuadro 5.** Porcentaje de arsénico soluble presente como As(V) en el agua de los pozos de las plantas de remoción de arsénico.

Arsénico soluble como As(V) %								
Pozo	Feb	Mar	Abr	May	Ago	Set	Oct	Nov
Bebedero	100	100	100	100	100	98,7	98,5	100
Montenegro y Agua Caliente	100	100	100	100	99,3	99,3	99,0	*
Falconiana	100	100	100	100	99,5	99,5	99,0	99,0
Quintas DM	100	99,8	100	-	100	99,5	99,1	100
Santa Cecilia	31,5	42,8	42,8	60,3	45,8	42,2	49,6	51,1
Cristo Rey	98,8	98,8	99,4	99,4	*	98,9	98	99,3

\*No se tomó muestra por no haber bombeo en el momento del muestreo

Con el fin de asociar los resultados en cuanto a la prevalencia de As(III) o As(V) en los pozos, se procedió a efectuar otras determinaciones para explicar y complementar los resultados obtenidos de las concentraciones de arsenito y arseniato.

### Determinación de pH

Santa Cecilia y Cristo Rey de Los Chiles presentaron los pH más alcalinos de los seis pozos y para el caso de los pozos de Guanacaste, el pH fue bastante similar entre ellos, estos comportamientos no variaron en todo el periodo de muestreo. No se encontró relación directa

entre el aumento o disminución de la concentración del arsenito con el aumento o disminución del pH y así relacionar la presencia o ausencia de As(III) o As(V) con valores de pH más alcalinos o más ácidos.

### Cuantificación de manganeso

El pozo de Santa Cecilia también presenta altas concentraciones de manganeso donde se ha cuantificado desde  $(385,0 \pm 1,0)$   $\mu\text{g/L}$  hasta  $(474,9 \pm 1,0)$   $\mu\text{g/L}$ . A su vez, es el único pozo donde fue posible cuantificar arsenito y arseniato en relación de concentraciones muy similar.

No se encontró relación directa entre la concentración de manganeso y la concentración de arsenito. En la primera gira efectuada en dicha comunidad se obtuvo  $(10,0 \pm 1,0)$   $\mu\text{g/L}$  de arsenito y  $(474,9 \pm 1,0)$   $\mu\text{g/L}$  de manganeso, siendo las concentraciones de arsenito y de manganeso más altas de los ocho muestreos. Sin embargo, en concentraciones de manganeso de  $(414,9 \pm 1,0)$   $\mu\text{g/L}$  y hasta  $(448,8 \pm 1,0)$   $\mu\text{g/L}$ , la concentración de arsenito fluctúa entre  $(5,8 \pm 1,0)$   $\mu\text{g/L}$  hasta  $(8,7 \pm 1,0)$   $\mu\text{g/L}$ .

### Concentración de oxígeno disuelto

Se efectuaron las determinaciones de oxígeno mediante el método de Winkler, donde se fijó el oxígeno disuelto del agua en el campo, para posteriormente cuantificarlo en el laboratorio mediante una titulación. Los resultados obtenidos de oxígeno disuelto se muestran en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Concentración de oxígeno disuelto y temperatura en el agua de los pozos de las plantas de remoción de arsénico para la época seca y lluviosa.

Pozo	Oxígeno disuelto (mg/L) ( $\pm 0,1\text{mg/L}$ )	
	Época seca	Época lluviosa
Bebedero	3,9	4,7
Montenegro y Agua Caliente	4,9	5,2
Falconiana	3,9	4,6
Quintas Don Miguel	5,8	5,1
Santa Cecilia	1,5	1,5
Cristo Rey	2,9	2,4

Incertidumbre:  $\pm 0,1$  mg/L. LD: 0,2 mg/L, LC: 0,5 mg/L.

Los pozos de Guanacaste presentaron mayor concentración de oxígeno disuelto en el agua, siendo Quintas Don Miguel el pozo con las concentraciones más altas en las dos épocas. Por su parte, el pozo de menor concentración en todo el muestreo fue Santa Cecilia ( $1,5 \pm 0,1$ ) mg/L, coincidiendo con el hecho de ser el único en el que se cuantifica más arsenito en el agua. Si hay menos oxígeno disuelto, hay mayor probabilidad de encontrar arsénico en estado de oxidación tres.

### Concentración de sulfatos y nitratos en los pozos

Los sulfatos y nitratos compiten con el arseniato por los sitios de intercambio de la resina [14]. Este método de separación con cromatografía de intercambio aniónico es aplicable en aguas

cuya concentración de sulfatos y nitratos sea inferior a 120 mg/L y 200 mg/L, respectivamente. Las concentraciones de sulfatos no superaron los  $(11,8 \pm 0,8)$  mg/L, mientras que los nitratos fueron inferiores a  $(22,9 \pm 0,5)$  mg/L.

## Conclusiones

Las resinas de intercambio aniónico son una opción económica, pueden emplearse varias veces antes de que la resina se sature y poseen la ventaja de separar el arsénico trivalente del pentavalente de manera “*in situ*”, asegurando que el equilibrio de estas especies no se modifique en el traslado de muestras al laboratorio para posteriormente separar y cuantificar.

El arsénico se encuentra mayoritariamente como arsénico soluble en los seis pozos. La mayor concentración de arsénico particulado se cuantificó en el pozo de Cristo Rey en el mes de mayo de 2015  $(8,7 \pm 0,1)$   $\mu\text{g/L}$  y en noviembre del mismo año  $(9,0 \pm 0,1)$   $\mu\text{g/L}$ .

En febrero de 2015, en Santa Cecilia de El Amparo se cuantificó la mayor concentración de As(III) de todos los pozos, donde el 68,5 % del arsénico soluble estuvo como As(III) en, sin embargo, en siguientes muestreos se obtiene concentraciones de arsenito y arseniato en proporciones muy similares, variando de mes a mes la prevalencia de un estado de oxidación sobre el otro.

En Bebedero, Montenegro y Agua Caliente, Falconiana, Quintas Don Miguel y Cristo Rey se detectó arsenito en algunos muestreos y cuando fue posible cuantificarlo, se encontraba entre el límite de cuantificación y  $(0,4 \pm 0,1)$   $\mu\text{g/L}$ .

El pozo con menor concentración de oxígeno disuelto es precisamente donde hubo una combinación de arsenito y arseniato. Aunque la literatura indica que el As(III) predomina en condiciones reductoras y el As(V) prevalece en condiciones oxidantes, no siempre esto se presenta, siendo una consecuencia el ambiente geoquímico de suelos y minerales así como de las condiciones hidrogeológicas específicas del acuífero, entre otros.

## Recomendación

En las seis plantas de remoción de arsénico, el sistema de cloración se encuentra antes de la etapa de remoción, con el objetivo de asegurar que todo el arsénico se encuentre oxidado antes de la remoción, ya que el medio adsorbente a base de dióxido de titanio remueve de forma más efectiva el As(V) que el As(III).

De acuerdo a la experiencia de los ingenieros de AyA involucrados con estas plantas, el medio adsorbente pierde vida útil de forma más rápida cuando pasa agua clorada por los filtros presurizados. Si ya se conocen los niveles de As(III) y As(V) de los pozos, se podría optar por trasladar el sistema de cloración posterior a la etapa de remoción de arsénico, donde sólo se dosificaría con cloro para la desinfección del agua. Esto se traduciría en reducción de costos para AyA pues se podría incrementar la vida útil del medio adsorbente y se reduciría el consumo de gas cloro.

## Referencias

- [1] A. R. Kumar y P. Riyazuddin, “Preservation of inorganic arsenic species in environmental water samples for reliable speciation analysis,” *TrAC Trends Anal. Chem.*, vol. 29, no. 10, pp. 1212–1223, 2010.
- [2] A. K. Malik, V. Kaur, y S. Kumar, “Chapter 22 - Metal Speciation,” *Chem. Anal. Food Tech. Appl.*, pp. 715–755, 2012.

- [3] M. Litter, A. Sancha, y A. Ingallinella, *Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas, IBEROARSEN, CYTED:Argentina*, 2010.
- [4] T. J. Sorg, A. S. C. Chen, y L. Wang, "Arsenic species in drinking water wells in the USA with high arsenic concentrations.," *Water Res.*, vol. 48, pp. 156–69, 2014.
- [5] M. Kumar Singh y A. Kumar, "A Global problem of arsenic in drinking water and its mitigation- a review," *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, no. 1, pp. 196–203, 2012.
- [6] C. Jain y I. Ali, "Arsenic: occurrence, toxicity and speciation techniques," *Water Res.*, vol. 34, no. 17, pp. 4304–4312, 2000.
- [7] J. S. Wang y C. M. Wai, "Arsenic in Drinking Water—A Global Environmental Problem," *J. Chem. Educ.*, vol. 81, no. 2, p. 207, 2004.
- [8] *Reglamento para la Calidad del Agua Potable.*, N° 38924-S, San José, 2015.
- [9] *Guías para la calidad del agua potable*, Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición, OMS, Ginebra, Suiza, 2008.
- [10] Comisión Científica Origen del Arsénico, "Investigación geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica sobre el origen del arsénico en la zona de Cañas- Bagaces y alrededores," 2014.
- [11] *Manual del usuario ICP-MS serie 7700*, Agilent, USA, 2011.
- [12] L. A. Chen y K. F. Wang, "Arsenic Removal from Drinking Water by Ion Exchange and Activated Alumina Plants", Environmental Protection Agency (EPA), Cincinnati, Ohio, EPA/600R-00/063, 2000.
- [13] S. L. R. Ellison y A. Williams, Eds., EURACHEM/CITAC Guide. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. 2012.
- [14] M. I. Litter, M. A. Armienta, y S. S. Farías, *Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos*, IBEROARSEN, CYTED. Argentina, 2009.



# Aporte del Programa Bandera Azul Ecológica en la lucha contra el cambio climático en Costa Rica

## Contribution of Ecological Blue Flag Program to combat climate change in Costa Rica

Darner A. Mora-Alvarado<sup>1</sup>, Arcelio Chaves-Aguilar<sup>2</sup>

---

Mora-Alvarado, D; Chaves-Aguilar, A. Aporte del Programa Bandera Azul Ecológica en la lucha contra el cambio climático en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Diciembre 2019. Vol 32 Especial. Laboratorio Nacional de Aguas. Pág 158-168.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i10.4889>

1 Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.

2 Funcionario Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica. Correo electrónico: achavez@aya.go.cr.





## Palabras clave

Ambiente; categoría; evolución; programa; salud pública.

## Resumen

Este estudio describe la evolución de los alcances del Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE) durante el periodo 1996 al 2018, específicamente en la lucha contra el cambio climático, el aporte a la educación ambiental y la salud pública de Costa Rica. Para abordar este importante tema, se describen los orígenes y evolución de las 15 categorías vigentes al año 2018, y las expectativas al 2030, con respecto a las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS). Adicionalmente, se hace un análisis económico del ahorro en agua, papel, corriente eléctrica y combustibles fósiles en las categorías de “Cambio Climático”, “Municipalidades” y “Eco-Diplomática”. Por último, se hace un recuento de los logros alcanzados desde el punto de vista de los aspectos no tangibles en educación, gestión ambiental y salud pública, en los 23 años de vigencia del PBAE.

## Keywords

Categories; environmental; evolution; program; public health.

## Abstract

The present study describes the evolution through time of the Bandera Azul Ecológica (BAE) program from 1996 to 2018, focusing on the battle against climate change, environmental education, and public health in Costa Rica. The study describes the beginnings and evolution of the 15 categories up to 2018, envisions forecast for 2030 based on the Sustainable Development Goals, and analyzes water, paper, energy and fuel savings for the categories of “Climate Change”, “Municipalities” and “Eco-Diplomatic”. On the other hand, the study describes the intangible achievements in education, environmental management and public health during the last 23 years.

## Introducción

El Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE) es un galardón o reconocimiento diseñado en el Laboratorio Nacional de Aguas, en los meses de noviembre a diciembre de 1995 [1]. Entró en vigencia en enero de 1996 con el apoyo de la Dra. Anna Gabriela Ross, Presidenta Ejecutiva en ese entonces del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), abarcando únicamente la categoría de “Playas”. El propósito original fue *“organizar a la sociedad civil de las zonas costeras, con el objetivo de buscar su desarrollo en concordancia con la protección de mar y sus respectivas playas”* [2]. El PBAE fue administrado, en sus inicios, por una Comisión Nacional del PBAE (CNPBAE), constituida por 4 entidades públicas y una privada, a saber, AyA, Instituto Costarricense de Turismo (ICT), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Ministerio de Salud (MINSa) y Cámara Nacional de Turismo (CANATUR).

Su fundamento legal de entonces fue el “Acuerdo de Junta Directiva del AyA N°96-160 y el Decreto Ejecutivo N°25636-MINAE-S [3][4]. Del año 1996 al 2001 la CNPBAE logró empoderar la categoría de playas, y en el año 2001 realizó su primer “Plan Estratégico” en donde redefinió el objetivo general, abriendo la posibilidad de crear nuevas categorías para mejorar el ambiente y

la salud pública del país [5]. Fue así como en el año 2002 se estableció la II categoría destinada a “Comunidades” tierra adentro, para disminuir la contaminación ambiental y evitar el deterioro de los ríos o quebradas, que más temprano que tarde van a desembocar en las diferentes playas del país [6]. En el año 2004, a solicitud del señor expresidente de la República Dr. Abel Pacheco de la Espriella, se creó la III categoría denominada “Centros Educativos” [7], con el afán de trasladar la filosofía de aseo e higiene a las infraestructuras de las escuelas y colegios, pero sobre todo a la mente de los niños y niñas para hacer sostenible el PBAE en el tiempo. En el periodo 2006-2010, en la administración del Dr. Oscar Arias Sánchez, se crearon cuatro categorías; la IV fue enfocada a “Espacios Naturales Protegidos” [8] y la V a “Microcuencas Hidrológicas” [9], destinadas a la protección de los bosques y ríos-quebradas, respectivamente. En el año 2008 se estableció la VI categoría denominada “Acciones para enfrentar el Cambio Climático” [10], con el objetivo de promover en las empresas públicas y privadas la disminución del uso de agua, corriente eléctrica, combustibles fósiles y papel, e impulsar la reforestación y otras acciones ambientales. En el 2009 se promulgó la VII categoría denominada “Comunidad Clima Neutral” [11], con el fin de fomentar en nuestras comunidades actividades prácticas para lograr ser carbono neutral en las próximas décadas. En el año 2011, durante la administración de la señora expresidenta Laura Chinchilla Miranda, se crea la VIII categoría direccionada a la “Promoción de Salud Comunitaria” [12][13]. En el año 2012 se crearon las categorías IX sobre “Hogares Sostenibles” y X sobre “Eventos Especiales” [14]. En el año 2015 se establecieron las categorías XI, XII y XIII, denominadas “Agropecuaria”, “Municipal” y “Eclesial Ecológica” [15] [16][17]. En el año 2016 se promulgó la categoría XIV denominada “Eco-Diplomática” [18], y en el año 2017 la categoría XV de “Construcción Sostenible” [19]. Además, durante el año 2017 se elaboró el IV Plan Estratégico: 2018-2022 [20].

En razón de esta fructífera evolución del PBAE, en donde todas las categorías están interrelacionadas entre sí, se presenta este estudio con el objetivo de *“Determinar los aportes tangibles y no tangibles del PBAE en la lucha contra el cambio climático, la educación ambiental y la salud pública de Costa Rica”*.

## Metodología

Para efectos prácticos y con el propósito de cumplir con el objetivo planteado en el presente estudio, se describen primeramente los aspectos tangibles o cuantificables, y en segunda instancia los aspectos no tangibles aportados por el PBAE en sus primeros 23 años de vigencia.

### Descripción de los objetivos principales de cada categoría

Este punto de la metodología describe, uno a uno, los objetivos principales de las categorías establecidas desde 1996 y hasta el año 2017, en el marco del PBAE.

### Cuantificación de los logros tangibles

La identificación de los logros tangibles se realiza en forma general, aportando datos como el número de comités locales creados, tanto por cada categoría como en la totalidad del periodo 1996-2018, la evolución de comités locales inscritos por año y el número de ganadores respectivos. En los logros tangibles específicos se calcularon los ahorros en agua, papel, energía eléctrica y combustibles fósiles, en las categorías de “Cambio Climático”, “Municipal” y “Eco-Diplomática”, además de los resultados de las campañas de reforestación en el periodo 2006-2015.

## Logros no tangibles del PBAE

En este punto se realiza una revisión de la evolución del PBAE; se identifican las acciones desarrolladas en el tema de gestión, la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, playas, ríos y quebradas, así como los procesos de educación ambiental, la promoción de salud pública, y el traslado de la filosofía del PBAE a otras naciones de la región.

## Resultados

### Descripción de los Objetivos Generales de cada categoría

En el cuadro 1 se presentan los objetivos generales de las 15 categorías emergentes y vigentes en el periodo de 1996 al 2017.

**Cuadro 1.** Objetivos Generales por Categoría del PBAE Periodo 1996-2017

Categoría	Objetivo
Playas	Establecer un incentivo a los hoteleros, Cámaras de Turismo y comunidades costeras para proteger, en forma integral, las playas de Costa Rica.
Comunidades	Incentivar a las comunidades (tierra adentro del país), para que se organicen, con el afán de proteger los recursos naturales, sus atractivos turísticos y así brindar una mejor calidad de vida a los habitantes locales y visitantes de las comunidades participantes.
Centros educativos	Promover la adquisición de actitudes y valores en la población estudiantil que incidan en el desarrollo de una cultura ambiental para el desarrollo sostenible y sustentable.
Espacios naturales protegidos	Reconocer a los gestores de estos espacios los esfuerzos realizados en la promoción y adopción de prácticas sostenibles y amigables con el ambiente, mediante la mejora continua de las condiciones higiénicas sanitarias.
Microcuencas hidrológica	Establecer un incentivo para promover el desarrollo, proteger y mitigar la contaminación, mejorando las condiciones higiénico-sanitarias de las cuencas hidrográficas del país.
Cambio climático	Incentivar la organización de los sectores industriales, agropecuarios, salud, recursos hídricos y a las entidades públicas y privadas para "maximizar la competitividad y minimizar el riesgo provocado por los efectos del cambio climático, en el país.
Comunidad clima neutral	Incentivar la integralidad de las 6 categorías vigentes del Programa con otras acciones de la sociedad civil, con el propósito de buscar, en forma paulatina, que nuestras comunidades sean carbono neutral.
Salud comunitaria	Incentivar a las autoridades de salud, para que realicen en conjunto con los líderes comunales, autoridades municipales, unidades de salud representadas en las comunidades; actividades y acciones con el propósito de cumplir con parámetros obligatorios y complementarios para mejorar la salud y la calidad de vida, en sus respectivas poblaciones, áreas de trabajo o comunidades.
Hogares sostenibles	Implementar acciones concretas de disminución de agua, papel, corriente eléctrica, combustibles fósiles y la aplicación de buenas prácticas en beneficio del ambiente en cada hogar o vivienda, con el propósito de contribuir a la mitigación y la adaptación al cambio climático.
Eventos especiales	Incentivar a las entidades organizadoras de eventos para que los mismos cuenten con: acceso a agua potable, adecuada disposición de residuos sólidos, evacuación adecuada de excretas, promueva prácticas limpias en todas las actividades del evento, que exista plan para la atención de emergencias, una entidad organizadora del evento y permisos legales.

Continúa

Continuación

Categoría	Objetivo
Agropecuaria	Incentivar la aplicación de mejores prácticas para la gestión sostenible de los recursos naturales en la producción agropecuaria.
Municipal	Reconocer los esfuerzos municipales en materia ambiental, promoviendo a través del liderazgo de los gobiernos locales el desarrollo, y creando una visión colectiva para el fortalecimiento de capacidades en los diferentes actores a nivel municipal.
Eclesial cronológica	Incentivar las iglesias de todas las denominaciones religiosas en crear espacios de encuentro común, promoviendo un desarrollo socio ambiental con criterios de sostenibilidad, donde se minimice el riesgo provocado por los efectos del cambio climático, mediante una gestión integrada de los recursos naturales, que genere un efecto multiplicador en sus centros de evangelización.
Eco-diplomática	Impactar en la conciencia ambiental de las personas que ejercen una representación del Estado en las relaciones internacionales a través de las embajadas y consulados.
Construcción sostenible	Disminuir los impactos negativos ocasionados, en la sociedad y ambiente, mediante buenas prácticas, económicas, sociales y ambientales, asociado a procesos de diseño y construcción de infraestructuras, logrando sensibilizar a desarrolladores, usuarios y propietarios sobre prácticas de construcción sostenible para la adaptación y mitigación al Cambio Climático y la sostenibilidad del país.

Fuente: CNPBAE

## Logros tangibles del PBAE: 1996-2017

### Comités participantes y ganadores por categoría

En el cuadro 2 se presenta el número de comités locales participantes y ganadores del galardón por categoría y por año.

**Cuadro 2.** Programa Bandera Azul Ecológica 2014 al 2018. Comités de Categorías Inscritos y Ganadores

Categoría	Inscritos 2014	Ganadores 2014	Inscritos 2015	Ganadores 2015	Inscritos 2016	Ganadores 2016	Inscritos 2017	Ganadores 2017
1 Playas	130	108	127	110	141	105	132	107
2 Comunidades	65	39	60	50	84	55	75	60
3 Centros Educativos	2510	1856	2842	1919	2916	1988	2858	2025
4 Espacios Naturales Protegidos	45	41	48	39	47	44	65	34
5 Microcuencas	43	31	53	33	52	34	57	42
6 Cambio Climático	643	352	672	314	753	409	923	488
7 Agropecuaria			70	65	173	128	285	177
8 Comunidad Clima Neutral	3	1	4	1	3	1	1	0
9 Salud Comunitaria	13	9	21	14	25	18	34	27
10 Hogares Sostenibles	242	94	431	310	689	208	704	136
11 Eventos Especiales	30	28	38	34	35	34	45	45
12 Municipalidades	1	1	16	8	44	21	45	21
13 Eclesial Ecológica	NE		en proceso	0	5	3	8	6
14 Ecodiplomática	NE		en proceso	0	9	7	17	11
15 Construcciones Sostenibles	NE						2	1
	<b>3725</b>	<b>2560</b>	<b>4382</b>	<b>2897</b>	<b>4976</b>	<b>3055</b>	<b>5251</b>	<b>3180</b>
Porcentajes								

**Notas:**

1- NE significa: No existía.

2- No se presenta dato de ganadores del año 2017, pues estamos en proceso de participación.

3- Se espera resultados de la Categoría "Construcciones Sostenibles", para este año 2017.

4- Se da la segregación de la categoría "Agropecuaria" de Cambio Climático a partir del año 2015, dando su propio resultado.

### Comités ganadores por categoría

En el cuadro 3 se presenta el número de comités locales ganadores del galardón, por categoría y por año, entre los años 1996 y 2017.

**Cuadro 3.** Ganadores por categoría

Año	I. Playas (1996)	II. Comunidades (2002)	III. Centros Educativos (2004)	IV. Espacios Naturales Protegidos (2006)	V. Microcuencas Hidrológicas (2008)	VI. Cambio Climático (2008)	VII. Comunidad Círculo Neutral (2009) *	VIII. Salud Comunitaria (2011)	IX. Hogares Sostenibles (2012)	X. Eventos Especiales (2013)	XI. Municipalidades (2015)	XII. Agropecuaria (2015)	XIII. Eclesial Ecológica (2015)	XIV. Ecodiplomática (2015)	XV. Constitución Sostenible (2017)	XVI. Bienestar Animal (2018)	Total
1996	10																10
1997	19																19
1998	24																24
1999	27																27
2000	35																35
2001	37																37
2002	45																45
2003	56	9															65
2004	50	15	110														175
2005	57	21	220														298
2006	58	29	164	ND													251
2007	ND	33	206	10													249
2008	63	38	260	24	3	17						1					406
2009	61	39	313	36	3	49						1					502
2010	67	40	426	37	16	85	1					4					676
2011	80	40	531	33	24	140	X	2				7					857
2012	90	44	819	41	25	272	1	6	19	1		19					1337
2013	107	40	1094	35	26	274	X	9	102	4		30					1721
2014	108	39	1856	41	31	330	1	9	94	28		55					2592
2015	110	50	1919	41	33	367	X	14	310	33	8	65					2950
2016	105	55	1950	41	32	409	1	18	235	34	20	132	5	6			3043
2017	107	60	2011	34	42	488	X	27	130	47	27	177	6	11	3		3170

### Árboles sembrados o plantados

La figura 1 muestra la cantidad de árboles sembrados o plantados en Costa Rica, en el periodo comprendido entre los años 2006 y 2015.



**Figura 1.** Árboles sembrados o plantados en los periodos 2006-2015

### Ahorro en agua, papel, corriente eléctrica y combustibles fósiles en categorías de “Cambio Climático”, “Municipal” y “Eco-Diplomática” en el periodo 2016-2017

El cuadro 4 presenta el ahorro en colones obtenido a través de la promoción del buen uso del agua, electricidad, combustibles fósiles y papel, equivalente a un aproximado de 24 millones de dólares al tipo de cambio de ¢600 por 1USD.

**Cuadro 4.** Ahorro en agua, papel, corriente eléctrica y combustibles fósiles en categorías de Cambio Climático, Municipal y Eco-Diplomática.  
Periodo 2016-2017

<b>PROGRAMA BANDERA AZUL ECOLÓGICA DE COSTA RICA</b>					
<b>Ahorros en colones del PBAE 2016 - 2017</b>					
<b>Categorías</b>	<b>Agua</b>	<b>Electricidad</b>	<b>Combustible Fósil</b>	<b>Papel</b>	<b>Totales</b>
Cambio Climático	1.218.765.020,00	3.445.665.160,00	9.163.804.250,00	32.071.680,00	13.860.306.110,00
Municipalidades	11.574.029,00	94.898.842,00	337.232.550,00	6.529.193,00	450.234.614,00
Ecodiplomática	130.755,92	6.443.526,61	1.529.023,00	18.252.640,00	26.355.945,53
<b>Sumatoria total de ahorros en 2016 y 2017 estimados</b>					<b>14.336.896.669,53</b>

Fuente: CNPBAE

### Logros intangibles del PBAE en el periodo 1996-2017

#### Logros en Costa Rica

Los logros intangibles del PBAE son los siguientes:

- Es un excelente instrumento para la promoción de la salud, mediante la participación de comités locales, en la categoría de “Salud Comunitaria”.
- Es un instrumento para promover la educación ambiental en centros educativos, áreas de salud y en comités locales del sector público y privado, participantes en la categoría de “Cambio Climático”, “Municipal”, “Eclesial Ecológica” y “Eco-Diplomática”.
- Ha masificado la educación ambiental mediante la categoría de “Eventos Especiales”, en más de 140 eventos realizados entre el 2012 y 2017.
- Mediante la categoría de “Construcción Sostenible”, focalizada en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, se ha fomentado la implementación de elementos para prevenir la contaminación de ambiente, desde los diseños hasta la finalización de las obras. Esta filosofía se ha aplicado en los edificios del “Centro Nacional de Convenciones” (2017-2018) y la nueva “Asamblea Legislativa” (2017-2019).
- Se ha promovido la educación, separación y reciclaje de residuos sólidos, prácticamente mediante las 15 categorías de estudio del PBAE.
- Se ha promovido la protección de las playas y otros cuerpos de agua superficiales, mediante las categorías de “Playas” y “Microcuencas”.

- Con la implementación de la categoría “Agropecuaria” se ha educado a los finqueros y trabajadores del Sector, para buscar el desarrollo de sus fincas aplicando parámetros de mitigación y adaptación al cambio climático.
- Debido a que el PBAE contaba con 15 categorías al año 2017, y que cada categoría exige el cumplimiento de parámetros obligatorios y complementarios relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [21], este programa es un buen instrumento para abordar estos objetivos mundiales al 2030.

#### Logros internacionales

- El PBAE fue trasladado y aplicado en Panamá en el año 2006 con las categorías de “Playas”, “Centros Educativos” y “Comunidades”, y en el 2017 en Honduras en la categoría de “Playas”.
- La filosofía del PBAE se ha trasladado a otros países del mundo mediante la aplicación en al menos 26 embajadas, consulados y misiones, participantes en la categoría “Eco-Diplomática” desde el año 2016.

### Análisis de resultados y conclusiones

Para efectos prácticos y con la intención de no ser repetitivo, se aborda en forma paralela el análisis de los resultados y las conclusiones respectivas.

#### Objetivos generales de las 15 categorías

En el cuadro 1 se describen los objetivos generales de las 15 categorías vigentes hasta el 2017; no obstante, es importante indicar que durante la reunión extraordinaria de diciembre del 2018, la CNPBAE aprobó la categoría 16 de “Bienestar Animal”.

#### Conclusión

El PBAE ha demostrado, en sus 24 años de existencia, ser una herramienta versátil, ágil y exitosa en la protección del ambiente y la salud pública.

#### Logros tangibles del PBAE

##### Comités galardonados entre los años 1996 y 2017

En el cuadro 2 se presentó el número anual de comités galardonados en las 15 categorías vigentes al año 2017; se aprecia que en el año 1996 los comités galardonados en la categoría de playas fueron 10, mientras que en el 2017 el número ascendió a 107 galardonados. El total de todos los galardonados de las 15 categorías fue de 3170.

#### Conclusión

El total de comités galardonados fue de 3170 en todas las categorías al 2017.

##### Comités inscritos y galardonados en el periodo 2014-2017

Con el propósito de cuantificar el número anual de comités locales inscritos y galardonados, en el cuadro 3 se cuantifican los comités locales inscritos y los ganadores por categoría para los años 2014 al 2017.

## Conclusiones

los comités locales inscritos al 2017 fue de 5.251 y los galardones 3.180, lo cual indica un porcentaje de aprobación fue de 60,5% en todas las categorías; lógicamente, este promedio varía dependiendo de cada categoría.

## Cantidades de árboles plantados: 2006-2015

En la figura 1 se presentó las cantidades anuales de árboles plantados, mediante el aporte de los diferentes comités locales participantes en el PBAE en el periodo 2006 al 2015.

## Conclusión

En el periodo 2006 al 2015, los comités locales participantes en las diferentes categorías plantaron 2.071.107 árboles.

## Ahorros en agua, papel, corriente eléctrica y combustibles fósiles

En el cuadro 4 se presentaron los datos de ahorro en agua, electricidad, combustibles fósiles en las categorías “Cambio Climático”, “Municipal” y “Eco-Diplomática” en el periodo 2016-2017. Los datos indican que con la categoría de “Cambio Climático” se ahorró un total de ¢13.860.306.110,00, en la categoría “Municipal” fue de ¢450.234.614,00 y en la de “Eco-Diplomática” de ¢26.355.945,53.

## Conclusión

la participación en estas categorías de “Cambio Climático”, “Municipal” y “Eco-Diplomática” no solo han beneficiado al ambiente, sino que ha generado un ahorro total de ¢14.336.896.669,53, equivalente a cerca de \$24 millones de dólares americanos al tipo de cambio actual de ¢600 por 1 USD.

## Logros intangibles

En su trayectoria de más 23 años de existencia del PBAE, además de los logros tangibles también han cosechado logros intangibles, los cuales se pueden resumir en lo siguiente:

## Conclusión

El PBAE ha promovido y obtenido los siguientes logros:

- Promoción de la Salud Ambiental y la Salud Pública en Costa Rica.
- Fortalecimiento de la educación ambiental con cada una de las categorías, específicamente y en forma masiva con la categoría de “Eventos Especiales”.
- Combatir la contaminación del medio ambiente mediante la categoría de “Construcciones Sostenibles”, incluyendo instrumentos y actividades que permitan minimizar los efectos de la obra sobre el ambiente, desde los diseños hasta la finalización de la misma.
- Se ha fomentado la disminución, separación y el reciclaje de los desechos sólidos en Costa Rica.
- Mediante la categoría “Agropecuaria” se ha educado a los trabajadores agropecuarios y finqueros, para buscar el desarrollo de su empresa aplicando la mitigación y “Adaptación al Cambio Climático”.
- El PBAE, con sus múltiples y variadas categorías, ha probado ser un buen instrumento importante para atender las 169 metas y 17 “Objetivos de Desarrollo Sostenible” al 2030.

El PBAE ha tenido los siguientes logros internacionales:



- La filosofía del programa se ha trasladado a los países de Panamá, Honduras y Perú.
- Mediante la categoría “Eco-Diplomática” el PBAE se ha trasladado a 26 países, lo cual ha permitido transmitir a otros países nuestros sentimientos, pensamientos y actitudes ecológicas.

## Recomendaciones

Debido a que el PBAE fue designado como un “Programa de Interés Público y Nacional”, mediante el Decreto Ejecutivo BAE 31978-MEP-MINAE-S-TUR [22], y que fue incluido en el “Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022” [23], considero fundamental:

- a) Fortalecer los recursos económicos y humanos para atender la demanda de nuevos participantes en las futuras décadas, y brindarle sostenibilidad a este importante programa.
- b) También es necesario contar con la personería jurídica que permita crear una “Asociación sin Fines de Lucro”, con la finalidad de recaudar fondos nacionales e internacionales, como complemento a los aportes de las grandes entidades públicas y privadas que conforman la CNPBAE.

## Referencias

- [1] Darner A. Mora. *Proyecto Bandera Azul Ecológica*. Tres Ríos, La Unión, Cartago; Laboratorio Nacional de Aguas, AyA; 1995: pág. 1-15.
- [2] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica (CNPBAE). *Manual de Procedimientos de la Categoría de Playas*. San José, Costa Rica; 1996: pág. 1-12.
- [3] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. *Comunicación Interna Acuerdo de Junta Directiva. Acuerdo N°96.160*. San José, Costa Rica; 1996: pág. 1-2.
- [4] Poder Ejecutivo de Costa Rica. “*Creación del Programa Bandera Azul Ecológica*”. Decreto N°25636; San José, Costa Rica; jueves 28 de noviembre de 1996.
- [5] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Plan Estratégico del Programa Bandera Azul Ecológica: 2001-2006*. Punta Leona, Puntarenas; mayo 2001: pág. 1-18.
- [6] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría de Comunidades*. Versión 2002; CNPBAE; Tres Ríos, La Unión, Cartago; Laboratorio Nacional de Aguas; 2002: pág. 1-10.
- [7] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría de Centros Educativos*. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2004: pág. 1-15.
- [8] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría de Espacios Naturales Protegidos*. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2006: pág. 1-12.
- [9] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de Microcuencas Hidrológicas*. Versión 2008. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2008: pág. 1-5.
- [10] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría Acciones para enfrentar el Cambio Climático*. Versión 2008. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2008: pág. 1-12.
- [11] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría Comunidad Clima Neutral*. Versión 2009. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2009: pág. 1-10.
- [12] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría Promoción de Salud Comunitaria*. Versión 2011. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2011: pág. 1-13.
- [13] Poder Ejecutivo de Costa Rica. *Decreto Integrador y Aplicación del PBAE*. Decreto Ejecutivo N°31481-MINAE-S; San José, Costa Rica; 12 de abril del 2011; pág. 1-6.
- [14] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría Eventos Especiales*. Versión 2019. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2011.
- [15] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría Agropecuaria*. Versión 2015. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2015: pág. 1-12.



- [16] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría Municipal*. Versión 2015. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2015. pág. 1-15.
- [17] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría Ecodiplomática*. Versión 2016. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2016. pág. 1-12.
- [18] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos de la Categoría Construcción Sostenible*. Versión 2017. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2017. pág. 1-12.
- [19] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. *Manual de Procedimientos Categoría Construcción Sostenible*. Versión 2017. CNPBAE; San José, Costa Rica; 2017. pág. 1-12.
- [20] Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. y Equipos Técnicos. *Plan Estratégico 2018-2022*. San José, Costa Rica; CFIA; 2018. pág. 1-12.
- [21] Darner A. Mora. *Aportes del Programa Bandera Azul Ecológica a los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Tres Ríos, La Unión, Cartago; 2016. pág. 1-15.
- [22] Poder Ejecutivo de Costa Rica. *Declaración de Interés Público y Nacional del PBAE*. Decreto BAE 31978-MEP-MINAE-S-TUR; San José, Costa Rica; La Gaceta 178, miércoles 8 de setiembre 2002. pág. 2.
- [23] Ministerio de Planificación. *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022*. MIDEPLAN; San José, Costa Rica; 2018. pág. 177-179.