

# Actualización de los criterios de calidad del agua de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica

## Updating the water quality criteria for well and spring water used for potabilization in Costa Rica

Darner A. Mora-Alvarado<sup>1</sup>, Ana Mata-Solano<sup>2</sup>,  
Marco A. Sequeira-Barquero<sup>3</sup>

---

*Fecha de recepción: 21 de agosto de 2015*  
*Fecha de aprobación: 18 de diciembre de 2015*

Mora-Alvarado, D; Mata-Solano, A; Sequeira-Barquero, M.  
Actualización de los criterios de calidad del agua de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 85-98.  
DOI: 10.18845/tm.v29i3.2890



- 1 MQC/MSc. en Salud Pública. Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr
- 2 Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica.
- 3 Licenciado en Química, Área de Agua Potable del Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica.

## Palabras clave

Agua; calidad; criterio; naciente; potabilización; pozo.

## Resumen

El objetivo de la investigación fue actualizar los criterios microbiológicos y físico-químicos de las aguas de pozos y nacientes para potabilización, mediante el análisis de datos de 965 pozos y 3.292 nacientes del país, durante el periodo 1996-2010. Para ello se aplicaron los siguientes pasos:

- Se hizo un inventario de las diferentes fuentes de agua para potabilización, con los datos históricos del Laboratorio Nacional de Aguas.
- En el caso de los criterios microbiológicos, se determinaron los promedios de Coliformes fecales (CF/100mL) y *Escherichia coli* (*E. coli*) en nacientes y pozos por separado.
- Con los datos de los promedios de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL se realizaron análisis estadísticos para pozos y nacientes, utilizando la media, la moda, la mediana, la desviación estándar (DS), el mínimo, el máximo y el rango, y se hizo una distribución por percentiles de los datos para cada indicador.
- Con respecto a la calidad físico-química, se aprovechó la experiencia y el conocimiento de la realidad de las fuentes de agua del país, además de los adelantos científicos contemplados en las *Guías para la Calidad del Agua de Bebida* de la OMS (2011).
- Los datos y el análisis estadístico, demostraron la conveniencia de separar los criterios microbiológicos de las aguas de pozos y nacientes. No obstante, en el aspecto físico-químico se definieron 11 parámetros básicos (organolépticos, dureza, nitratos, metales pesados, cloruros y plaguicidas).

El presente estudio permitió ampliar los criterios de calidad para la potabilización en pozos y nacientes, mediante el análisis de la realidad de las fuentes de aguas subterráneas del país.

## Keywords

Criteria; potabilization; quality; spring water; wells.

## Abstract

*Objective:* To update the microbiological and physical-chemical criteria for well and spring water used for potabilization, through analysis of data collected from 965 wells and 3.292 springs during the period 1996-2010.

*Methodology:* In order to fulfill the study objective the following phases were performed:

- Inventory of the diverse springs used for potabilization according to historical data available at the National Water Laboratory.
- In the case of microbiological criteria, averages were determined separately for springs and well water for the parameters of fecal coliforms (CF/100mL) and *Escherichia coli* (*E. coli*).
- With the average data for CF/100 mL and *E. coli*/100 mL, statistical analyses were performed for well and springs and the average, mode, median, standard deviation (SD),

minima, maxima and range were determined; in addition the percentile distribution for each indicator was determined.

- For physical-chemical quality, we recurred to expert criteria gathered through work with water sources in the country and the scientific updates in the 4<sup>th</sup> Edition of the WHO Drinking Water Quality Guidelines (2011).

*Results:* The data and statistical analysis show the convenience of having separate microbiological criteria for well-water and springs. However, regarding physical-chemical aspects, 11 basic parameters were defined (organoleptic, hardness, nitrates, heavy metals, chlorides, and pesticides).

*Conclusions:* This study allowed broadening the criteria for well-water and springs used for potabilization, through analysis of current conditions of groundwater in the country.

## Introducción

El acceso a agua para consumo humano (ACH), la disposición adecuada de excretas (DAE) y la educación, son factores esenciales para mejorar la salud pública y la calidad de vida de los seres humanos (Heller, 1997; (Junkin, 1996; Heymann, 2005; Mora, 2005). En el caso del ACH, la protección y adecuada captación de las fuentes de agua (pozos, nacientes y aguas superficiales), son fundamentales para garantizar la calidad de los servicios de agua potable en cinco aspectos conocidos como las “cinco C” (cantidad, continuidad, calidad, costo y cobertura) (Mora, 2012).

Para evaluar las fuentes de agua superficiales (ríos, quebradas y embalses) en Costa Rica, existe el “Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales” (Decreto Ejecutivo N° 33903, 2007). Con respecto a las fuentes subterráneas para potabilización (pozos y nacientes) el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA, 1978), del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), implementó desde la década de los 70 los “Criterios de Calidad de Aguas para Pozos y Nacientes” (Decreto Ejecutivo N° 26066-S, 1997), que se presentan en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Criterios de calidad de las aguas de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica

Características	Unidad	Calidad físico-química y microbiológica			
		Excelente	Buena	Regular	Mala
Coliformes totales	NHP/100 mL	≤ 20	21-69	70-150	>150
Coliformes fecales	NHP/100 mL	<6	7-21	22-50	>50
pH	-----	6,5-8,5	5-9,0	4-10	-
Cloruros	mg/L	<200	200-400	>400-500	>500
Fluoruros	mg/L	<1,0	1-1,5	1,5-2,5	>2,5
Color	Unidades	0-10	>10-20	>20-30	>30
Turbiedad	UNT	0-10	>10-20	>10-20	>20

Por otro lado, en el caso de la evaluación de la calidad del ACH, se aplica el *Reglamento para la Calidad del Agua Potable* (Decreto Ejecutivo N°38924-S, 2015). Además el LNA, en el marco del Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable: 2007-2015 (PNMSCSAP) (Decreto Ejecutivo N° 33958-S-MINAE, 2007), estableció, entre otros aspectos, el Sistema para Evaluar la Calidad el Servicio de Agua Potable (SECSAP) (Mora & Feoli, 2006), usando las anteriormente mencionadas “cinco C”.

El LNA ha identificado, hasta ahora, 4.580 fuentes de agua, que abastecen a 2.138 acueductos que son operados por el AyA (180 sistemas), municipios (236), la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) (12 acueductos) y acueductos comunales administrados por ASADAS y/o Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAARs) (1890) (Mora & Portuguesez, 2011). De estas 4.580 fuentes de agua 321 son superficiales y abastecen al 35% de la población, 4.259 son subterráneas, 965 son pozos y 3.292 son nacientes (Mora, Mata & Portuguesez, 2011).

En el caso específico de los criterios relativos a aguas subterráneas para potabilización, en las últimas cuatro décadas se han usado los parámetros microbiológicos y físico-químico indicados en el cuadro 1 de manera uniforme, tanto para pozos como para nacientes. Los autores de este trabajo consideran que esto es inconveniente, al menos en cuanto a los aspectos microbiológicos, para diferenciar ambos tipos de fuentes subterráneas.

Dicha diferencia se fundamenta en que, si bien es cierto que los dos tipos de fuentes tienen en común su origen subterráneo, y que por su naturaleza tanto los pozos como las nacientes están en general purificados en el aspecto microbiológico, cuando el manantial o naciente aflora debe ser bien captado, para evitar la contaminación con bacterias u otros microorganismos terrestres o de excretas de animales o seres humanos. En este sentido, los pozos -sobre todo los profundos- tienen mayor pureza que las nacientes.

Con respecto a las características físico-químicas la vulnerabilidad es muy semejante para pozos y nacientes. El presente estudio se enfoca en la actualización de los criterios microbiológicos para pozos y manantiales por separado y, aunque los parámetros físico-químicos son muy semejantes, el número de variables se ampliará a 15 en ambos tipos de fuentes de agua.

## Objetivos

### General

Actualizar los criterios microbiológicos y fisicoquímicos de las aguas de pozos y nacientes para potabilización, mediante el análisis de datos de 965 pozos y 3.292 nacientes durante el periodo 1996-2010.

### Específicos

- Inventariar los diferentes tipos de fuentes de agua para potabilización en Costa Rica.
- Determinar los promedios geométricos de CF/100mL y *E. coli*/100 mL de cada uno de los 965 pozos y 3.292 nacientes estudiados.
- Realizar análisis estadísticos de la información de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL, mediante datos estadísticos básicos como la media, la moda, la mediana, la desviación estándar (DS), la varianza, el mínimo, el máximo, el rango y la distribución de los datos para ambos indicadores por percentiles, en el periodo 1996-2010.
- Actualizar y ampliar los parámetros físico-químicos para ambos tipos de fuentes.
- Establecer lineamientos para aplicar los nuevos criterios de calidad.

## Metodología

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

### Inventario de fuentes de agua para potabilización

Con los datos históricos del LNA se realizó el inventario de las diferentes fuentes de agua a saber pozos, nacientes y superficiales (ríos, quebradas y embalses), en el periodo 1996-2010.

### Promedios geométricos de las bacterias indicadoras

Para determinar los promedios geométricos de CF/100mL y *E. coli*/100mL de los 965 pozos y 3.292 nacientes, se estudiaron 16.446 y 10.859 muestras de agua, respectivamente, en un periodo de 15 años.

### Análisis estadísticos de los datos microbiológicos

A los datos de CF/100mL y *E. coli*/100 mL de los pozos y nacientes se les aplicó un análisis estadístico básico, que es un insumo para establecer los nuevos criterios microbiológicos por separado para ambos tipos de fuente. Dichas variables fueron la media, la mediana, la moda, la DS, la varianza, el coeficiente de asimetría, el mínimo, el máximo y el rango.

Además, para definir la clasificación de la calidad microbiológica de ambos tipos de fuentes de agua según las categorías *excelente*, *buena*, *regular*, *mala* y *muy mala* calidad para la potabilización, se establecieron los siguientes pasos:

- El ordenamiento de los datos promedio de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL en aguas de pozos y manantiales.
- Luego, los datos se agruparon por percentiles (deciles) y se determinaron los valores estadísticos básicos antes mencionados.
- Con fundamento en estos datos se definieron los siguientes clasificaciones:
  - El agua de pozo o naciente se calificará de calidad “excelente”, para la potabilización, si los datos de la moda y la media del color son iguales a “cero” o negativos por CF/100 mL y *E. coli*/100 mL.
  - El agua de pozo o naciente se calificará como de “buena” calidad, para la potabilización, cuando los resultados del color arrojen datos superiores a “cero” y menores o iguales a la moda y la media; de igual manera se procede con las variables de CF/100mLy *E. coli*/100mL
  - El agua de pozo o naciente de calidad “regular” para la potabilización, se define en el intervalo que va de los valores mayores a la media más el valor de la DS, fundamentado en que este es el “punto de quiebre”, donde los datos para ambos tipos de fuente tienen mayor varianza y coeficiente de asimetría; es decir, los datos de CF/100mL y *E. coli* del valor de la media hacia abajo prácticamente tienen una DS muy baja o menor a un dígito.
  - El agua de calidad “mala” para la potabilización se ubica en el valor máximo del intervalo de la calidad regular al valor máximo obtenido en los CF/100 mL y *E. coli*/100mL, en el percentil 100.
  - El agua de pozo y naciente de calidad “muy mala”, es aquella que supera el valor máximo obtenido en los 965 y 3.292 pozos y nacientes, en el periodo 1996-2010.

### Definición en los valores de los parámetros fisicoquímicos

Para efectos prácticos, los parámetros físico-químicos seleccionados se definen por sus características organolépticas y su afectación a la salud del consumidor. Los parámetros seleccionados son:

Conductividad (MS/cm)	Nitratos (mg/L)
Color aparente (U.Pt.Co)	Plomo (µg/L)
Turbiedad (UNT)	Cadmio (µg/L)
Temperatura (°C)	Arsénico (µg/L)
Dureza total (mg/L)	Hierro (mg/L)
Manganeso (mg/L)	Plaguicidas (µg/L)

La definición de los valores recomendados y máximos permisibles se realizó de acuerdo con los datos históricos del LNA, la realidad hidrogeológica del país y el aporte científico de las *Guías para la Calidad del Agua de Bebida* de la OMS (2011).

### Lineamientos para la aplicación de los criterios de calidad

Para aplicar los criterios de calidad físico-química y microbiológica para la potabilización, es necesario separar la evaluación en análisis puntuales o el promedio de CF/100mL y *E. coli*/100mL y los valores físico-químicos, en un periodo de al menos un año o cuatro análisis de laboratorio como mínimo.

## Resultados

### Inventario de los diferentes tipos de fuentes de agua

En el cuadro 2 se presenta el detalle, por tipo de fuente de agua para potabilización, de los 2.138 acueductos inventariados hasta el año 2010.

**Cuadro 2.** Fuentes de abastecimiento de los acueductos operados por el AyA, municipios, ASADAS y/o CAARs y la ESPH: 2010

Ente operador	Pozos	Naciente	Fuentes superficiales con y sin Planta de tratamiento		Subtotales	
			Con	Sin	Nº	%
AyA	229	188	32	19	468	10,2
ASADAS y/o CAAR's	672	2.793	13	220	3.698	80,7
Municipalidades	47	309	3	29	388	8,5
ESPH	19	2	0	5	26	0,6
Totales	967	3.392	48	273	4.580	100

Fuente. Laboratorio Nacional de Aguas.

- En los anexos A y B se presentan, en orden creciente, los promedios de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL para aguas de pozos. Por su parte, en los anexos C y D se presenta la misma información para las nacientes, ambos para en el periodo 1996-2010.
- Distribución estadística de los resultados promedio de CF/100mL y *E. coli*/100 mL en agua de pozos.

*Distribución estadística de CF-100MI y propuesta de Clasificación de calidad para potabilización.*

En el cuadro 3 se presentan los resultados de los datos promedio de CF/100 mL de los 967 pozos, en el periodo 1996-2010.

**Cuadro 3.** Distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de pozos usados para potabilización: 1996-2010

Nº	Mediana	Media	Moda	DS	Varianza	Coef. de asimetría	Mín.	Máx.	Rango
967	0	2,70	0	27,37	746,37	24,53	0	750	750

Fuente: Elaboración de los autores. DS: Desviación estándar.

En el cuadro 4 se presenta la distribución de los CF/100 mL promedios de las aguas de los pozos.

**Cuadro 4.** Percentiles (deciles): distribución de los promedios de CF/100 mL de los pozos en el periodo 1996-2010

Percentiles	Valores de CF/100 mL
10	0
20	0
30	0
40	0
50	0
60	0
70	0
80	1,22
90	1,79
100	750,0

Fuente: Elaboración de los autores.

*Propuesta de clasificación de la calidad del agua según los CF/100 mL*

De conformidad con los lineamientos planteados en la metodología sobre el análisis estadístico, en el cuadro 5 se presenta la propuesta sobre criterios microbiológicos, según CF/100 mL, en 967 pozos.

**Cuadro 5.** Propuesta de criterios microbiológicos, según CF/100 mL en las aguas de pozos en Costa Rica

Clasificación de la calidad	Intervalos	Observaciones
Excelente	O (negativo)	En concordancia con los valores de la moda y la mediana
Buena	> 0 a 2,7	El valor máximo de acuerdo con el valor de la media
Regular	> 2,7 a 30,0	El valor máximo se calcula sumándole a la media el valor de la DS de los 967 datos
Mala	> 30 a 750	El valor máximo de 750 se ubica en el percentil 100
Muy mala	> 750	Cualquier dato que supere el valor máximo de 750 CF/100 mL

Fuente: Elaboración de los autores.

*Propuesta de clasificación de la calidad del agua de los pozos según E. coli/ 100 mL.*

En el cuadro 6 se presenta la distribución estadística de los 967 datos, dos promedios de *E. coli*/100 mL en aguas de pozos.

**Cuadro 6.** Distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de *E. coli*/100 mL en aguas de pozos: 1996-2010

Nº	Mediana	Media	Moda	DS	Varianza	Coef. de Asimetría	Mín.	Máx.	Rango
967	0	2,16	0	26,95	727	25,01	0	750	750

Fuente: Elaboración de los autores.

En el cuadro 7 se presenta la distribución de los 967 datos promedio de *E. coli*/100 mL por percentiles o deciles.

**Cuadro 7.** Distribución de los 967 datos promedio de *E. coli*/100 mL por percentiles o deciles

Percentiles	Valores de CF/100 mL
10	0
20	0
30	0
40	0
50	0
60	0
70	0
80	1,15
90	2,52
100	750,0

Fuente: Elaboración de los autores.



En el cuadro 8 se presenta la propuesta de clasificación de la calidad microbiológica según *E. coli*/100 mL.

**Cuadro 8.** Propuesta de criterios microbiológicos según *E. coli*/100 mL para aguas de pozos

Clasificación de la calidad	Intervalos	Observaciones
Excelente	0 (negativo)	De conformidad con los valores de la moda y la mediana
Buena	> 0 a 2,3	El valor máximo es la media de los 967 datos
Regular	> 2,2 a 29	El valor máximo se calcula sumando a la media la DS de 26,95
Mala	> 29 a 750	El valor máximo de 750 <i>E. coli</i> /100 mL se encuentra el percentil 100
Muy mala	> 750	Cualquier dato que supere el valor máximo obtenido en los 967 datos históricos.

Fuente: Elaboración de los autores.

### Distribución estadística de los resultados promedio de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL en aguas de nacientes

*Distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de las nacientes y propuesta de clasificación de calidad*

En el cuadro 9 se presenta la distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de 3292 nacientes analizadas en el periodo 1996-2010.

**Cuadro 9.** Distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de las aguas de nacientes: 1996-2010

Nº	Mediana	Media	Moda	DS	Varianza	Coef. de asimetría	Mín.	Máx.	Rango
3292	1,87	23	0	153,97	23,71	12	0	2400	2400

Fuente: Elaboración de los autores.

En el cuadro 10 se presentan los datos de CF/100 mL distribuidos por percentiles.

**Cuadro 10.** Percentiles (deciles) de los datos promedio de CF/100 mL en aguas de nacientes utilizadas para potabilización

Percentiles	Valores de CF/100 mL
10	0
20	0
30	0
40	1,3
50	1,9
60	2,7
70	3,8
80	7,7
90	21,5
100	2400

Fuente: Elaboración de los autores

*Propuesta de clasificación de la calidad del agua según CF/100 mL en nacientes*

En el cuadro 11 se presenta la propuesta de clasificación microbiológica, según CF/100 mL en aguas de nacientes.

**Cuadro 11.** Propuesta de criterios microbiológicos según CF/100 mL en aguas de nacientes

Clasificación de la calidad	Intervalos	Observaciones
Excelente	O (negativo)	En concordancia con el valor de la moda
Buena	> 0 a 23	El valor máximo de 23 es el obtenido como mediana en 3.292 nacientes
Regular	> 23 a 177	El valor máximo se calcula sumando al valor de la media la DS de los 3.292 datos
Mala	> 177 a 2400	El valor máximo de 2.400 se ubica en el percentil 100
Muy mala	> 2400	Cualquier dato que supere el valor máximo de 2400 CF/100 mL.

Fuente: Elaboración de los autores.

*Distribución estadística de E. coli/100 mL para aguas de nacientes y propuesta de clasificación de calidad*

En el cuadro 12 se presenta la distribución estadística de los promedios de *E. coli*/100 mL de las 3.292 nacientes estudiadas de 1996 a 2010.

**Cuadro 12.** Distribución estadística de los datos promedio de *E. coli*/100 MI de las nacientes utilizadas para potabilización

Nº	Mediana	Media	Moda	DS	Varianza	Coef. de asimetría	Mín.	Máx.	Rango
3292	1,38	19,59	0	149,42	22,23	13,31	0	2400	2400

Fuente: Elaboración de los autores.

En el cuadro 13 se presenta la distribución de los valores promedio de las 3292 nacientes, por percentiles o deciles.

**Cuadro 13.** Percentiles (deciles) de los datos promedio de *E. coli*/100 mL en nacientes utilizadas para potabilización

Percentiles	<i>E. coli</i> /100 mL
10	0
20	0
30	0
40	1,15
50	1,4
60	2,7
70	3,8
80	*
90	21,5
100	2400

Fuente: Elaboración de los autores.

*Propuesta de clasificación de la calidad del agua, según E. coli/100 mL en aguas de nacientes*

**Cuadro 14.** Propuesta de criterios microbiológicos, según *E. coli*/100 mL en aguas de nacientes

Clasificación de la calidad	Intervalos	Observaciones
Excelente	0 (negativo)	En concordancia con el valor de la moda de los 3292 datos
Buena	> 0 a 20	El valor máximo de 20 es el obtenido como mediana
Regular	> 20 a 170	El valor de 170 se obtiene de la suma de la media más la DS
Mala	> 170 a 2400	El valor máximo de 2400 se ubica en el percentil 100
Muy mala	> 2400	Cualquier valor que supere el valor máximo de 2400 <i>E. coli</i> /100 mL.

Fuente: Elaboración de los autores.

### Parámetros fisicoquímicos recomendados en cada clase

Contrariamente a las variables microbiológicas, que tienen valores diferentes para aguas de pozo y nacientes, los parámetros fisicoquímicos son semejantes para ambos tipos de fuente.

En el cuadro 15 se resumen tanto las variables microbiológicas como los 15 parámetros fisicoquímicos seleccionados.

**Cuadro 15.** Criterios de Calidad para Potabilización en Aguas de Pozos y Nacientes Costa Rica: 2012

Pozos	Nacientes	Parámetros	Calidad Microbiológica y Fisicoquímica				
			Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
x		CF/100 mL	O (Negativo)	>0 a 2,7	>2,7 a 30	>30 a 750	>750
x		E.coli/100 mL	O (Negativo)	>0 a 2,2	2,2 a 29	<29 a 750	>750
	x	CF/100 mL	O (Negativo)	>0 a 23	>23 a 177	>177 a 2400	>2400
	x	E.coli/100 mL	O (Negativo)	>0 a 20	>20 a 169	>169 a 2400	<2400
x	x	Color ( Pt-Co)	<1,0	1 a <5	5a <10	10 a <15	≥15
x	x	Turbiedad (UNT)	<1,0	1 a < 3	3a < 5	5 a < 10	≥10
x	x	Temperatura (°C)	<18,0	18 a 25	25a<28	28 a <50	≥50
x	x	Conductividad (µs/cm)	<400	400 a <500	500 a <600	600 a <700	≥ 700
x	x	Dureza Total (mg/L)	<200	200 a <300	300 a <400	400 a <500	≥500
x	x	Fluoruros (mg/L)	<0,7	0,7 a <1,0	1,0 a <1,5	1,5 a <20	≥20
x	x	Hierro (mg/L)	<0,2	0,2 a < 0,3	0,3 a <0,4	0,4 a <0,5	≥0,5
x	x	Manganeso (mg/L)	<0,05	0,05 a <0,10	0,10 a <0,5	0,5 a <10	≥1,0
x	x	Nitratos (mg/L)	<10	10 a <25	25 a <40	40 a <50	≥50
x	x	Plomo µg/L	<5,0	5 a <10	10 a <15	15 a <20	≥20
x	x	Cadmio µg/L	<3,0	3,0 a <5,0	5,0 a <7,0	7 a <10	≥10
x	x	Arsénico Total (µg/L)	<5,0	5 a <10	10 a <20	20 a <30	≥30
x	x	Cloruros (mg/L)	<25	25 a<50	50 a <100	100 a <200	≥200
x	x	Plaguicidas Total (µg/L)	ND 0,0	0,0 a <0,5	0,5 a <1,0	1,0 a <1,5	≥1,5
x	x	Valor de pH	6,5-7,5	6,0-<6,5 o >7,5 a <8,0	5,5 a <6,0 >8,0<8,5	5,0 a <5,5 o 8,5 a 9,0	<5,0 o>9,0

Fuente: Elaboración de los autores.

## Lineamientos para aplicar los criterios fisicoquímicos y microbiológicos para potabilización en aguas subterráneas.

### *Evaluaciones puntuales*

- Las evaluaciones puntuales son aquellas que se realizan con un solo análisis fisicoquímico y microbiológico.
- En el caso de las aguas de pozos, se recomienda utilizar en forma indiferente los indicadores bacterianos del Grupo Coliforme Fecal y la bacteria *E. coli*/100 mL, debido a que los intervalos propuestos son muy semejantes.
- En el caso de las aguas de las nacientes, se recomienda usar la *E. coli*/100 mL, debido a que existen diferencias en los intervalos y esta bacteria es más específica de la contaminación fecal.
- Con respecto a los parámetros fisicoquímicos, se deben aplicar las 15 variables seleccionadas en conjunto con una adecuada inspección sanitaria de la zona y hacer una evaluación de riesgo de la naciente.

### *Evaluaciones periódicas*

- En las evaluaciones periódicas en al menos un año se recomienda realizar dos muestreos en verano y dos en invierno para las variables microbiológicas. En el caso de los muestreos para parámetros fisicoquímicos, se recomienda una muestra en verano e invierno en los 15 parámetros seleccionados.
- Con respecto a la evaluación microbiológica, es necesario sacar el promedio de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL de las cuatro muestras realizadas. Además, se deben utilizar, en forma complementaria, los indicadores bacterianos de CF/100mL y *E. coli*/100mL en las aguas de nacientes. En el caso de los pozos, se recomienda usar la *E. coli*/100 mL.
- Al igual que las evaluaciones puntuales, es necesario hacer adecuadas inspecciones sanitarias en los pozos y las nacientes, para hacer una evaluación de riesgo sanitario y tomar medidas correctivas de las respectivas fuentes de agua.

## Bibliografía

- Heller, L. (1997). *Saneamiento y salud*. Brazilia: OMS/OPS.
- Heymann, D. (2005). *El control de las enfermedades transmitibles*. Washington D.C.: EUA, OMS, APHA.
- Junkin, M. (1996). *Agua y salud humana*. México D.F.: Editorial Limusa.
- LNA (Laboratorio Nacional de Aguas). (1978). *Criterios de calidad de aguas de pozos y nacientes*. La Unión, Cartago: Laboratorio Central AyA.
- Mora, D. (2005). *Saneamiento, Educación y Salud*. San José: Editorama.
- Mora, D. (2012). *Calidad microbiológica de las aguas superficiales en Costa Rica 2011*. La Unión, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas.
- Mora, D. & Feoli, H. (2006). *Sistema de Evaluación de la calidad de los servicios de agua potable*. La Unión, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas.
- Mora, D. & Portuguese, C. (2011). *Acceso a agua para consumo humano y saneamiento. Evolución en el periodo 1990-2010 en Costa Rica*. La Unión, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas, AyA.
- Mora, D., Mata, A. & Portuguese, C. (2011). *Calidad microbiológica de las fuentes de aguas superficiales utilizadas para consumo humano en Costa Rica*. La Unión, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la Calidad del Agua de Bebida*. Tercera edición. Volumen 1 Recomendaciones. OMS, Genova, 2004.
- Poder Ejecutivo. (1997). *Designación del Laboratorio Central del AyA como Laboratorio Nacional de Aguas-San José*. D.E. N° 26-066-S. *La Gaceta* N° 26066-S, 1997.

- Poder Ejecutivo. (2015). *Reglamento para la Calidad del Agua Potable*. San José. D.E. N° 38924-S. *La Gaceta* N° 170, del 1 de setiembre de 2015.
- Poder Ejecutivo. (2007). *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los cuerpos Aguas Superficiales*. San José, D.E. N° 33903-MINAE-S. *La Gaceta* N° 178, 2007.
- Poder Ejecutivo. (2007). *Reglamento para la Implementación y Desarrollo del Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable: 2007-2015*. San José. D.E. N° 33958-S-MINAE. *La Gaceta* N° 175, 2007.