

# 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 ( $\mu\text{S/cm}$ )	1 000	Categoría D
Cromo ( $\mu\text{g/L}$ )	50	Categoría D
Dureza total (mg/L)	400	Categoría D
Fluoruros (mg/L)	1,50	Categoría D
Hierro ( $\mu\text{g/L}$ )	300	Categoría C
Magnesio (mg/L)	50	Categoría D
Manganeso ( $\mu\text{g/L}$ ) [4]	50	Categoría C
Mercurio ( $\mu\text{g/L}$ )	1,0	Categoría D
Níquel ( $\mu\text{g/L}$ )	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 ( $\mu\text{g/L}$ )	10,0	Categoría D
Selenio ( $\mu\text{g/L}$ )	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 ( $\mu\text{g/L}$ )	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.