

Determinación de la calidad del agua para consumo humano del asentamiento el Barón, Esparza-Puntarenas

Determination of water quality for human consumption of the El Barón settlement, Esparza-Puntarenas

Nazareth Berrocal Vega¹

Esteban Pérez López²

Fecha de recepción: 2-12-2021

Fecha de aceptación: 23-8-2021

Resumen

El agua es fundamental para el desarrollo de la vida humana, por consiguiente su calidad también lo es. El agua de mala calidad o contaminada puede traer graves problemas de salud pública por la población que la utiliza, incrementando la morbilidad y hasta la mortalidad de una región. Con la finalidad de conocer la situación de la calidad del agua en el Asentamiento El Barón en Esparza, Puntarenas; en la segunda mitad del 2019, y a raíz de aparente contaminación en el agua que llegaba a las casas de esta comunidad, se realizaron determinaciones físicas y químicas a muestras de agua potable, entre ellas: olor, sabor, pH, conductividad, cloruros, y por absorción atómica: calcio, magnesio y cadmio. Con este estudio se evidenció que el agua suministrada en el Asentamiento El Barón, en Esparza, Puntarenas cumple con las especificaciones de los parámetros analizados del control operativo, nivel primero y nivel segundo del Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S, pero se encontraron altas concentraciones de cadmio $1,68 \pm 0,07$ mg/L, por encima del valor máximo admisible (VMA) 0,003 mg/L según la misma regulación. La alta presencia de cadmio en el agua puede traer consecuencias en la salud a mediano plazo, ya que hasta una exposición baja puede provocar daños en los riñones e hígado, así como aumentar la fragilidad en los huesos.

Palabras clave: calidad del agua, parámetros físico-químicos, agua potable, cadmio.

Abstract

Water is essential for the development of human life, therefore its quality is also essential. Poor quality or contaminated water can bring serious public health problems for the population that uses it, increasing morbidity and even mortality in a region. In order to know the situation of water quality in the El Barón Settlement in Esparza, Puntarenas; in the second half of 2019, and as a result of apparent contamination in the water that reached the homes of this community. Physical and chemical determinations were carried out on samples of drinking water, including: odor, taste, pH, conductivity, chlorides, and by atomic absorption: calcium, magnesium, and cadmium. This study showed that the water supplied in the El Barón Settlement, in Esparza, Puntarenas meets the specifications of the analyzed parameters of the operational control, first level and second level of the Regulation for the quality of Drinking Water No. 38924-S, but High concentrations of cadmium 1.68 ± 0.07 mg / L were found, above the maximum admissible value (VMA) 0.003 mg / L according to the same regulation. The high presence of cadmium in water can have health consequences in the medium term, since even a low exposure can cause damage to the kidneys and liver, as well as increase the fragility of the bones.

Key words: water quality, physical-chemical parameters, drinking water, cadmium.

¹ Estudiante de Bachillerato en Laboratorista Químico, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Sede de Occidente-Recinto de Grecia. Correo electrónico: naza1715@hotmail.com

² Máster en Sistemas Modernos de Manufactura y Bach. en Laboratorista Químico. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Sede de Occidente-Recinto de Grecia. Correo electrónico: esteban.perezlopez@ucr.ac.cr

I. Introducción

El agua es un recurso esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente. El agua dulce (2,53%) en el planeta tierra se encuentra distribuida en ríos, lagos, glaciares, atmosfera y el subsuelo. En América Latina y el Caribe aproximadamente un 20 % del total de las extracciones de agua, se utiliza para consumo humano. El aprovechamiento en Costa Rica es un poco más de este 20 % para diferentes usos, entre los que el 7,2 % es para consumo humano (Zhen, 2009).

Para la Organización Mundial de la Salud, la calidad del agua potable es un tema de interés universal (OMS, 2012), el agua es esencial para la vida y todas las personas deberían de disponer de un suministro satisfactorio. En julio del 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua (ONU, 2010).

Sin embargo, las aguas superficiales de las nacientes y los ríos son vulnerables a diversas fuentes de contaminación por microorganismos patógenos o sustancias químicas, ya sea de origen natural o antrópico. El agua es un vehículo de transmisión de químicos y especies bacteriológicas, ya que constituye un riesgo para la propagación de enfermedades como medio de dispersión. La ingesta de agua contaminada con patógenos puede producir efectos inmediatos en la salud; mientras que, por químicos pueden acumularse en el organismo durante, meses, años o décadas, y cuyas consecuencias se manifiestan en forma de intoxicación grave o letal (OPS, 2004).

El agua es el componente más abundante en la superficie terrestre y más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y se encuentra en compuestos naturales, y como agua de cristalización en muchos cuerpos orgánicos e inorgánicos como los cristales (RAE, 2015).

Es un recurso vital para el desarrollo social y económico de los países, esto debido a que un acceso a agua y saneamiento mejorados constituyen factores de relevancia para promover una mayor inclusión social y contribuir en la reducción de la pobreza (Guerrero et al. 2006).

En muchos lugares del mundo las personas no cuentan con el líquido adecuado, ni en calidad ni en cantidad y continuidad, para poder cuidar su salud (Conant 2005). Para decidir si el agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. En el abastecimiento de agua, los usos de la tierra generan una constante y creciente presión en los niveles de calidad y cantidad de agua para consumo humano (Garita 2005).

También, Aguilar (2009) menciona que, en nuestro país, no existe un proceso ordenado de asignación o distribución de derechos de agua en función de los distintos usos, los únicos instrumentos que se tienen en Costa Rica son el “Balance Hídrico Nacional” desarrollado por el MINAET y otras instituciones y la herramienta de “Evaluación de efectos acumulativos” que determina cuál es el impacto acumulado de las actividades humanas sobre una cuenca. No obstante, esta herramienta ha tenido un escaso desarrollo en la práctica.

El presente manuscrito presenta el desarrollo de la investigación realizada con el objetivo de determinar la calidad del agua potable en el Asentamiento el Barón en Esparza - Puntarenas, con el fin de determinar la eventual contaminación del agua en un momento puntual derivado de la inquietud de los pobladores del lugar, por la “suciedad” presentada en el agua para consumo humano que se observaba en un momento específico, mismo que se aprovechó para la realización del muestreo para este estudio.

II. Antecedentes

En lo que respecta a estudios realizados sobre calidad del agua, Gramajo (2004) presentó su tesis determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala. Con la cual determinó que todos los parámetros evaluados se encontraron dentro de los límites aceptados en la norma para agua potable, por lo que se concluyó que el agua de estos cuatro pozos es adecuada para consumo humano, mientras que la calidad del agua para uso industrial, se encontró que es adecuada para uso en la industria de alimentos en general,

no así para las industrias de bebidas carbonatadas, destilerías y cervecerías, y calderas por no cumplir con los requerimientos para estas industrias.

A su vez, Calderón y Orellana (2015) presentaron “Control de calidad del agua potable” que se distribuye en los campus: central, hospitalidad, Balzay, Paraíso, Yanuncay y las Granjas de Iriquis y Romeral, pertenecientes a la Universidad de Cuenca, Ecuador. Obteniendo como resultados de las pruebas, según el análisis comparativo con los valores establecidos en la norma INEN 1108: 2014 demuestran, que la mayoría de los parámetros cumplen satisfactoriamente con los requerimientos para la calidad de Agua potable, sin embargo, existieron resultados Microbiológicos indicativos de contaminación en las fuentes de agua que se utilizan de manera primordial para el consumo humano en la mayoría de campus.

Según la Organización Mundial de la Salud (2015), aproximadamente 1,1 mil millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a fuentes de agua mejorada. Asimismo, 2,4 mil millones no tienen acceso a ningún tipo de instalación mejorada de saneamiento. Cerca de 2 millones de personas, la mayoría de ellos niños menores de cinco años, mueren todos los años debido a enfermedades diarreicas. Los más afectados son las poblaciones de los países en desarrollo que viven en condiciones extremas de pobreza, tanto en áreas periurbanas como rurales.

Valencia (2016), evaluó la calidad del agua para consumo humano, en la cabecera municipal de Riosucio departamento del Chocó-Colombia en la que los resultados permitieron corroborar que el agua del municipio de Riosucio no es apta para consumo humano, en los tres puntos donde fueron tomadas las muestras de agua: fuente de captación, manguera de conducción y tanques de almacenamiento, el índice de riesgo para la calidad de agua de consumo (IRCA) determinado según la resolución 2115 de 2007 fue muy alto, siendo este de 93.4, 93.1 y 89.1% respectivamente. Además, se encontraron altos contenidos de coliformes totales y fecales, lo cual, posiblemente ha traído como consecuencia numerosos casos de morbilidad, principalmente en Enfermedades Diarreicas Agudas

También en 2018 en Perú, Aguilar y Navarro presentaron su tesis para optar el título de ingenieros ambientales “Evaluación de la calidad de agua para consumo humano de Llañucancho el distrito de Abangay, obteniendo como resultado que según la Norma Técnica 031-DIGESA en los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los valores normales para agua para consumo humano mientras para los coliformes totales y termo tolerantes el valor normal debe de ser <1 UFC/ml, los cuales exceden en los resultados muy encima de los LMP en cada componente del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano y que las aguas no son aptas para consumo humano.

Costa Rica no es un país exento de estos casos también se han presentado estudios de la calidad del agua en diversos puntos del país. En 2009, Zhen presentó un estudio de la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste. Se presentó en la mayoría de los puntos contaminación fecal en la época de transición seca a lluviosa, debido al aumento de *Escherichiacoli*. Por lo que las fuentes no son utilizables para el consumo humano. Según el análisis estadístico, los parámetros de calidad, difieren significativamente con un nivel de significancia del 5% entre las épocas de muestreo.

En el 2016, Pérez publicó un artículo sobre control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. El cual tenía como objetivo comparar los resultados obtenidos para los parámetros de calidad evaluados entre las muestras analizadas. El estudio arrojó resultados muy favorables, ya que las muestras cumplen con la regulación vigente en el país en cuanto a parámetros de calidad del agua. No obstante, cabe destacar que, en los casos de la prueba de alcalinidad total de las muestras de las zonas de San Ramón y San Carlos, los resultados sobrepasan lo recomendado por los parámetros de calidad. Este no es un criterio contemplado en el reglamento vigente en el país, pero se espera que la irregularidad tenga una causa puntual y aleatoria, que no tenga repercusión en la salud humana de la población.

También en 2016, Hernández con su tesis evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 Millas de Matina, Limón. Corroboro con el muestreo 25 pozos de un total de 147, que las concentraciones de manganeso en el agua tomada de los pozos son altas (mediana: 835 µg/L Mn) y muchas veces (67%) están por encima de lo máximo permitido. Con base en lo que menciona la literatura científica, estas concentraciones podrían afectar el neurodesarrollo infantil. Además, se detectó la presencia de coliformes fecales en todas las muestras y en algunas se detectaron también plaguicidas.

III. Soporte teórico

Las principales fuentes de abastecimiento provienen de aguas superficiales o subterráneas, además, las aguas pluviales pueden ser una fuente de buena calidad a considerar, esto si no presentan influencia de aerosoles provenientes de prácticas agrícolas extensivas. En caso de que no exista otra alternativa su aprovechamiento para diferentes usos es una buena práctica sobre todo en el sentido ambiental y económico (Lampoglia, 2008).

La mayor parte del agua subterránea se origina del agua de lluvia infiltrada hasta los acuíferos, después de fluir a través del subsuelo. Las aguas subterráneas se pueden captar a partir de nacientes, pozos, galerías filtrantes y manantiales, en la mayoría de los casos el agua que proviene de este tipo de fuentes se encuentra libre y protegida de contaminantes, esto debido a que a pesar de que durante la infiltración el agua carga impurezas, durante su recorrido por el subsuelo mejora significativamente su calidad, las partículas suspendidas y microorganismos se retienen por filtración natural y las sustancias orgánicas se degradan por oxidación. Por este motivo se dice que estas aguas son de buena calidad, no obstante, siempre es preferible la desinfección como barrera de seguridad para prevenir contaminación durante el manejo del agua (OPS y CEPIS 2005, Lampoglia et al. 2008).

Por su parte, las fuentes de agua superficiales están constituidas por ríos, arroyos, lagos y embalses. Su origen puede ser el agua subterránea que aflora a la superficie a

través de manantiales o el agua de lluvia que se transporta a largo del terreno y escurre en los cuerpos de agua. Los ríos y arroyos se caracterizan por tener rápidos cambios de calidad, durante la época de lluvias se presentan incrementos en la turbiedad y otras sustancias orgánicas e inorgánicas debido al lavado y arrastre de los suelos (Auge, 2007). Es por ello que, al igual que con las aguas subterráneas cuando se hace uso y aprovechamiento de una fuente superficial se debe conocer y determinar las características físico-químicas y microbiológicas de la misma, y por lo general requerirá de procesos para su potabilización, así como barreras que reduzcan algún efecto negativo en la salud de la población.

Asimismo, Ramos, Sepúlveda & Villalobos (2002), indican que cerca de cinco millones de personas en el mundo mueren por beber agua contaminada, una situación que se agudiza especialmente en aquellos contextos de exclusión social, pobreza y marginamiento. Para entender esta situación, es importante referirse a las principales causas que han provocado la contaminación del agua.

Las aguas urbanas o sociales, corresponden a los residuos de origen doméstico y público (inodoros, lavado de ropa, duchas, desperdicios de cocina, limpieza etc.). En cuanto a las aguas industriales, desafortunadamente miles de empresas aún desconocen el buen uso que se debe dar a este recurso y vierten cantidades de productos contaminantes derivados de sus procesos industriales. Los ríos y los canales son los más afectados por estas malas prácticas. También, en cuanto a las aguas agropecuarias, la gran mayoría de los procesos agrícolas de nuestro tiempo emplean fertilizantes y productos químicos para el cultivo y la producción de los alimentos. Pues bien, estos productos se filtran a través de canales subterráneos que, en la mayoría de los casos, acaban en las redes de agua que utilizamos para nuestro consumo. Esta agua difícilmente será tratada para que vuelva a los canales aptos para el consumo. Por último, en las aguas naturales, normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy concretos. Mediante el arrastre de materia orgánica muerta y excretas de la fauna silvestre por los escurrimientos de agua pluvial, así como productos orgánicos producidos por la erosión en los suelos (Ramos et al., 2002).

Por otra parte, la calidad del agua no es una característica absoluta, sino que es más un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido” (WRI, 2000). El acceso al agua apta para el consumo humano es un derecho fundamental y una necesidad básica y esencial para la reducción de la pobreza. Se considera que el agua es de calidad cuando es segura para el consumo de las personas.

Se define calidad en función de un conjunto de características variables físico-químicas o microbiológicas, así como de sus valores de aceptación o de rechazo. La calidad físico-química del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar la salud (OMS, 2006), tras cortos o largos periodos de exposición. Mientras que, la microbiológica se basa en la determinación de aquellos microorganismos que pueden afectar directamente al ser humano o que, por su presencia pueden señalar la posible existencia de otros y, tal como sucede con los coliformes fecales, *Escherichiacoli* y *Salmonella* (Ministerio de Salud, 2005). Los requerimientos y estándares para establecer la calidad de cierta agua serán determinados por la legislación y normativa de cada país.

El Reglamento para la Calidad del Agua Potable de nuestro país, establece que el agua de calidad potable,

será aquella que al ser consumida por la población no causará daño a la salud del usuario, para lo cual debe cumplir con los requisitos físico-químicos establecidos en dicho reglamento. Por otra parte, el agua para consumo humano es aquella utilizada para la ingesta, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de utensilios, servicios sanitarios y otros menesteres domésticos; cabe resaltar que el agua para consumo humano puede ser potable o no potable (Mora & Portugués, 2003).

Actualmente, en nuestro país se cuenta con el Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S. (2015), el cual tiene por objetivo, establecer los límites máximos permisibles de parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el agua potable, a fin de garantizar su inocuidad y la salud de la población. En este reglamento se establecen niveles de control de calidad del agua y parámetros de análisis obligatorio. Se establece el control operativo y cuatro niveles de control de calidad, así como los parámetros físico-químicos y microbiológicos que se deben analizar.

- *Control operativo (CO)*: este control les corresponde a los entes operadores, para lo cual deben realizar mediciones periódicamente de los parámetros: turbiedad, olor y cloro residual libre (ver Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de calidad del agua para el Control Operativo (CO)

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Turbiedad	UNT	1,0	5,0
Olor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
pH	Valor pH	6,0	8,0
Cloro residual libre	mg/L	0,3	0,6

Fuente: Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S (2015).

- *Nivel Primero (N1)*: programa de control básico, el cual consiste en la inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente, el almacenamiento, la distribución del

agua potable y la determinación de los siguientes parámetros que se observan en la siguiente tabla con sus valores de alerta y máximos admisibles (ver tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de calidad del agua para el Nivel Primero (N1)

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Color aparente	U-Pt-Co	<5	15
Conductividad	μS/cm	400	-----
Escherichia coli	NMP/100 ml o UFC/100 ml	No detectable	No detectable
Cloro residual libre	mg/L	0,3	0,6
Cloro residual combinado	mg/L	1,0	1,8

Fuente: Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S (2015).

Nivel Segundo (N2): corresponde a un programa ampliado, el cual consiste en la inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente de abastecimiento y en la red de distribución. En este nivel los parámetros de control son: aluminio, calcio, cloruro, cobre, dureza

total, fluoruro, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio, sulfato y zinc. Los valores de alerta y máximos admisibles se indican en el tabla 3).

Tabla 3. Parámetros para la calidad del agua Nivel Segundo (N2)

Parámetro	Valor de Alerta mg/L (VA)	Valor Máximo admisible mg/L
Aluminio (Al+3)	-	0,2
Calcio (Ca+2)	-	100
Cloruro (Cl-)	25	250
Cobre (Cu)	1,0	2,0
Dureza total (CaCO ₃)	300	400
Fluoruro (F)	-	0,7 a 1,5
Hierro (Fe)	-	0,3
Magnesio (Mg+2)	30	50
Manganeso (Mn)	0,1	0,5
Potasio (K+)	-	10
Sodio (Na+)	25	200
Sulfato (SO ₄ -2)	25	250
Zinc (Zn)	-	3,0

Fuente: Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S (2015).

- Nivel Tercero (N₃): corresponde a un programa de control avanzado, el cual consiste en la inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente de abastecimiento y en la red de distribución. Los parámetros de control contemplados en este nivel son: amonio, antimonio, arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, nitrato, nitrito, plomo, y selenio. Para efectos de este estudio, en este nivel solo se evaluó el cadmio, por razones que se especifican en la metodología.

En Costa Rica, Acueductos y Alcantarillados (AyA) tiene a su cargo una serie de funciones de gran importancia para lograr sus objetivos y deberes como institución, tal como se mostró en el marco legal. Fue creado como institución autónoma con el objeto de dirigir, fijar políticas, establecer y aplicar normas, realizar y promover el planeamiento, financiamiento y desarrollo y de resolver todo lo relacionado con el suministro de agua potable (AyA, 2004).

También, las Asociaciones administradoras de acueductos y alcantarillados (ASADAS) tienen un convenio de delegación con el AyA, para la prestación del servicio, y poseen su reglamento (N°32529-S) y personería jurídica. La función de estas es dar mantenimiento y administrar los acueductos y debido a su subordinación con el AyA, el mismo tiene la potestad de retirar el convenio en caso de que la ASADA no cumpla con los lineamientos establecidos (Espinoza, Morera, Mora & Torres, 2004).

IV. Metodología

Para efectos de este estudio se realizaron tres muestreos de agua en el Asentamiento El Barón de Esparza, Puntarenas, en noviembre 2019. Específicamente y con miras a lograr representatividad, se eligieron los siguientes lugares: 1) La naciente ubicada detrás del Colegio Técnico de Esparza. 2) El tanque de captación, al costado sur de la plaza de deportes de Las Parcelas de El Barón, 3) Una casa de habitación, 100 metros oeste de la iglesia católica de la comunidad. En resultados las muestras aparecen identificadas respectivamente como: 1. Naciente, 2. Tanque, 3. Casa.

Por su parte, las pruebas realizadas a las muestras de agua recolectadas, fueron analizadas en el laboratorio químico del CELEQ-UCR quien facilitó las instalaciones y brindó orientación para la ejecución de las pruebas que se indican a continuación.

Control Operativo (CO): para el olor y sabor se realizaron las determinaciones mediante los sentidos del olfato y el gusto. El pH se midió con un pH-metro calibrado.

Nivel Primero (N₁): la conductividad se determinó directamente por medio de un conductímetro calibrado. La determinación de cloruros se realizó mediante una valoración con nitrato de plata (0.0110 M) con la cual se estableció la concentración de cloruros en las muestras de agua para el consumo humano.

Nivel segundo (N₂): primero, se realizó un barrido semicuantitativo por rayos x de las muestras a analizar con el fin de determinar cuáles metales se encuentran presentes en las muestras tomadas, en las cuales se encontraron calcio, magnesio, silicio, antimonio, cadmio, entre otros. Para efectos de esta investigación, se consideró de interés enfocarse en cadmio (por su alta presencia detectada), calcio y magnesio, los cuales se determinaron mediante ensayos por Absorción Atómica.

El primer elemento cuantificado fue el Cadmio (del nivel tercero de control) para el cual se realizó la preparación de cinco patrones a partir de un estándar certificado (2000 mg/L \pm 2 mg/L) con una concentración de 0,2 mg/L a 2,00 mg/L con lo que se procedió a realizar una curva de calibración y las muestras de agua por triplicado.

Para encontrar los valores de magnesio y calcio presentes en las muestras se realizó la preparación de cinco patrones a partir de estándares certificados (1000 mg/L \pm 3 mg/L), con los cuales se realizó una curva de calibración. Para el calcio de 1,00 mg/L a 5,00 mg/L y para el magnesio de 0,50 mg/L a 2,50 mg/L; y las muestras de agua se analizaron por triplicado.

Por último, mediante una titulación volumétrica con nitrato de plata (0,0110 M), se estableció la concentración de cloruros en las muestras por triplicado de agua para el consumo humano en cuestión.

V. Resultados

Tabla 4. Resultados obtenidos para pruebas del control operativo y el nivel primero

Muestra	Réplicas	Olor	Sabor	(pH \pm 0.003)	(Conductividad eléctrica \pm 0.03) μ s/cm
1. Naciente	1	Aceptable	Aceptable	6,987	230,30
	2			6,988	230,29
	3			6,987	230,31
2. Tanque	1	Aceptable	Aceptable	7,043	230,20
	2			7,041	230,20
	3			7,042	230,21
3. Casa	1	Aceptable	Aceptable	7,031	230,40
	2			7,031	230,39
	3			7,031	230,39
Promedio		NA	NA	7,020	230,30
Desv. Estándar		NA	NA	0,025	0,08
DSR%		NA	NA	0,357	0,04

NA: No aplica.

Tabla 5. Resultados obtenidos para pruebas del nivel segundo y tercero.

Muestra	Réplicas	Calcio \pm 0.8 mg/L	Magnesio \pm 0,2 mg/L	Cloruros \pm 0,07 %	Cadmio \pm 0,07 mg/L
1. Naciente	1	20,6	3,5	2,11	1,65
	2	20,6	3,5	2,10	1,65
	3	20,6	3,5	2,10	1,65
2. Tanque	1	20,7	3,4	2,11	1,71
	2	20,7	3,4	2,12	1,71
	3	20,7	3,4	2,11	1,71
3. Casa	1	20,6	3,5	2,02	1,68
	2	20,6	3,5	2,03	1,68
	3	20,6	3,5	2,03	1,68
Promedio		20,63	3,47	2,08	1,68
Desv. Estándar		0,05	0,05	0,04	0,03
DSR%		0,24	1,44	1,99	1,55

Tabla 6. Resumen de resultados obtenidos.

Parámetro	Resultado
Olor	Aceptable
Sabor	Aceptable
pH	$(7,020 \pm 0,003)$
Conductividad	$(230,30 \pm 0,03) \mu\text{s/cm}$
Calcio	$(20,6 \pm 0,8) \text{ mg/L}$
Magnesio	$(3,5 \pm 0,2) \text{ mg/L}$
Cloruros	$(210 \pm 7) \text{ mg/L}$
Cadmio	$(1,68 \pm 0,07) \text{ mg/L}$

VI. Discusión

Con la finalidad de evaluar la calidad del agua potable suministrada por el Asentamiento El Barón, de Esparza, Puntarenas; derivado de aparentes condiciones atípicas detectadas por vecinos de dicha comunidad, en cuanto a suciedad presente en el agua suministrada en épocas de la segunda mitad del 2019. Se evaluaron parámetros del Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S (2015), en lo correspondiente al control operativo y el nivel primero, cuyos resultados se ilustran en la Tabla 4 y se resumen en la Tabla 6. Además, del nivel segundo y nivel tercero, cuyos resultados fueron contemplados en la Tabla 5 y se resumen en la Tabla 6.

En primer lugar, en cuanto a las pruebas organolépticas en todos los casos se obtuvo que el agua tiene olor y sabor aceptables. Para Marín (2006), fisiológicamente, los sentidos del gusto y el olfato están íntimamente relacionados ya que las papilas linguales y las olfativas detectan estímulos simultáneos y complementarios. Solamente existen cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo. Todos los demás sabores se obtienen por interacción de estos reseñados. Las fuentes de sabores y olores del agua responden a dos orígenes: naturales y artificiales. Las primeras incluyen gases, sales, compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos y compuestos procedentes de la actividad vital de los organismos acuáticos. Los compuestos productores de olor/sabor de origen artificial pueden ser también orgánicos e inorgánicos y están probablemente más

definidos, al poder identificarse la fuente concreta productora del problema.

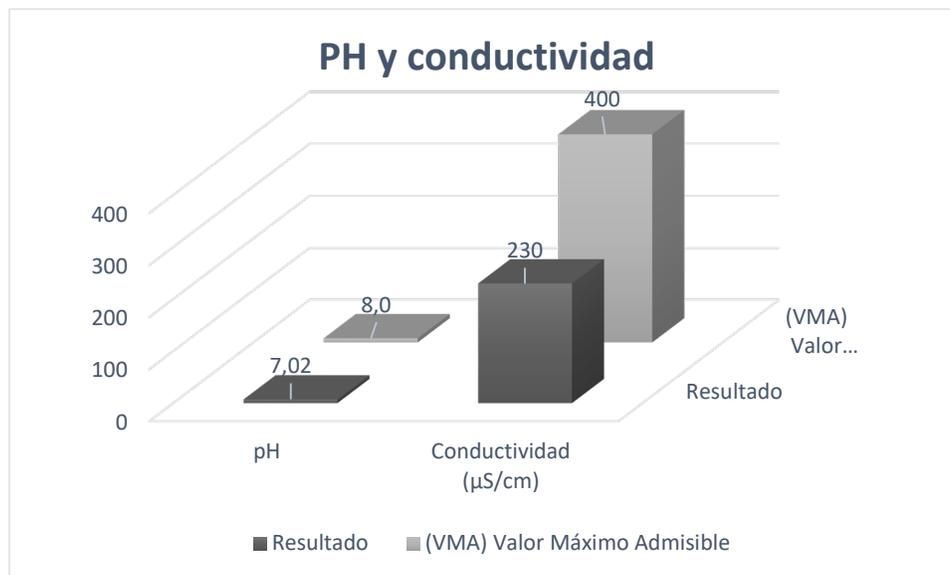
En la determinación del pH, esta indica el nivel de acidez de agua siendo la neutralidad (pH: 7,0) el valor más adecuado con unos límites entre 6,5 a 9,2. Un pH demasiado bajo puede ser corrosivo para las conducciones metálicas, mientras que, si el pH es excesivamente alto, entonces pueden producirse incrustaciones calcáreas. (Hidalgo, 2010). El pH recomendado para el agua potable es de 6.0 y el valor máximo de 8.0, y el pH obtenido al realizar las mediciones corresponde a $7,020 \pm 0,003$ (ver Figura 1), lo cual indica que el dato se encuentra en el rango recomendado. La desviación estándar obtenida corresponde a 0,0324, el coeficiente de variación es igual a 0,46%, por lo que indican que los datos son confiables.

En cuanto a la conductividad, se comprueba la habilidad de la muestra (agua potable) para conducir la corriente eléctrica, lo cual además sirve para comprobar la pureza del agua. Así, el agua pura prácticamente no conduce la corriente eléctrica, sin embargo, el agua con sales disueltas es un conductor eléctrico. En la mayoría de las disoluciones acuosas, cuanto mayor sea la cantidad de electrolito disuelto, mayor es la conductividad y este efecto continúa hasta que la disolución esté tan llena de iones, que se restrinja la libertad de sus movimientos, haga que la concentración disminuya en lugar de aumentar a partir de un valor crítico de la concentración de la disolución. (Cabrerizo, 2008).

El promedio obtenido al realizar la medición de la conductividad corresponde a $230,30 \pm 0,03 \mu\text{S}/\text{cm}$ (ver Figura 1), dicho valor se encuentra por debajo del máximo alerta ya que este corresponde a $400 \mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual no es perjudicial, ya que entre más bajo sea el

valor mejor será su pureza. El coeficiente de variación obtenido corresponde a $0,13\%$ (el valor aceptado es de 2%) y la desviación estándar es de $0,1528$, indicando que la variabilidad entre los datos es casi nula y por lo tanto aceptable.

Figura 1. Resultados obtenidos en los parámetros de pH y conductividad.



En parámetros del nivel segundo y nivel tercero, se determinó por absorción atómica el contenido de calcio, magnesio y cadmio. La espectroscopia de absorción atómica es una técnica con menos interferencias que otras, pues en general, los elementos absorben radiación independientemente de la presencia de otros. Así, en muchos casos es posible la determinación de un elemento sin tener que separarlo de otros, lo que da como resultado un gran ahorro de tiempo. Actualmente, para casi todos los elementos, la absorción atómica ha resultado ser un método bastante sensible (Walton & Reyes, 1983).

Sin embargo, según Guerrero (2010), como cualquier otra técnica analítica la absorción atómica no está exenta de interferencias. Por mencionar algunas, el traslape de espectros se produce cuando la absorción o emisión de una especie interferente se solapa o aparece muy próxima a la absorción o emisión del analito, de modo que la separación por el monocromador es imposible. La dispersión se da debido a la presencia de productos

de combustión o aerosoles que dispersan la radiación, la dispersión se puede corregir ya sea al modificar los parámetros analíticos como temperatura, y la relación combustible/oxidante, además se puede añadir un exceso de la sustancia interferente tanto a la muestra como a los patrones. El efecto de viscosidad en la matriz ocurre cuando la muestra es muy viscosa o tiene una tensión superficial distinta a los estándares, para corregir esto las muestras y patrones deben de tratarse de la misma manera. El efecto de la matriz se da cuando la absorción o dispersión se debe a la matriz de la muestra, si se usa como oxidante óxido nítrico se elimina esta interferencia. En general existen 4 métodos para la corrección de interferencias espectrales: (1) método de corrección de las dos líneas, (2) método de corrección con una fuente continua, (3) corrección de fondo en el efecto Zeeman, (4) corrección del fondo basada en una fuente con autoinversión.

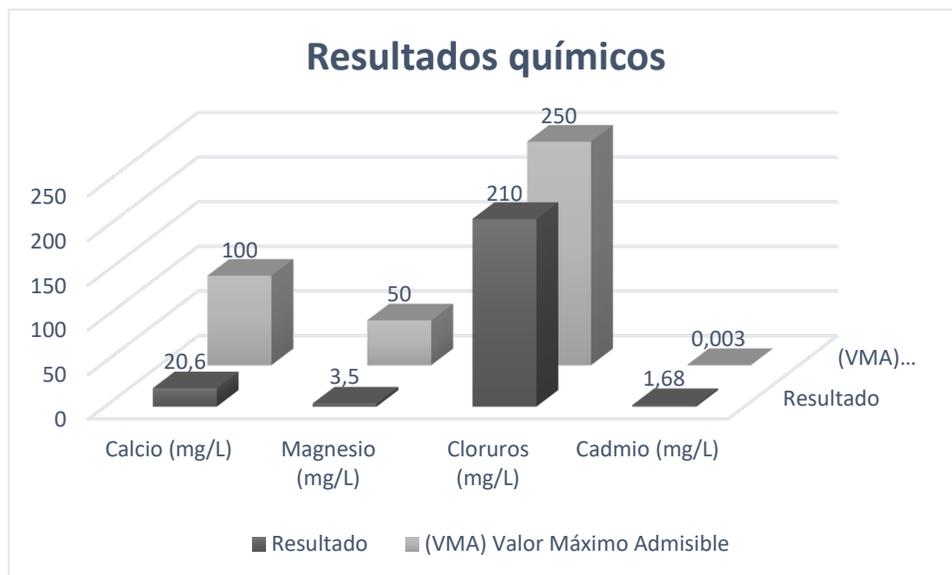
Las interferencias químicas se producen como consecuencia de diversos procesos químicos que ocurren durante la atomización y que alteran las características de absorción del analito. La formación de compuestos poco volátiles es producida por aniones que forman compuestos de baja volatilidad con el analito, se pueden eliminar aumentando la temperatura, y mediante el uso de agentes liberadores y agentes protectores. Las reacciones de disociación se dan cuando los constituyentes metálicos regresan a su forma elemental, para eliminar la interferencia se debe de cambiar la matriz y el elemento que altera el equilibrio. La ionización en llama genera como consecuencia una mayor concentración de electrones libres, mediante un supresor de ionización se corrige esta interferencia (Guerrero, 2010).

En el caso del análisis de calcio mediante la curva de calibración realizada con cinco patrones se obtuvo un $r^2 = 0,9987$, y el r^2 de la curva del magnesio es igual a $0,9997$, lo cual indica en ambos casos que la linealidad de la curva de calibración es aceptable ya que el valor mínimo

aceptado corresponde a $0,995$ tomando en cuenta que la curva de calibración es una representación gráfica de la proporcionalidad de la ley de Beer, se puede decir que la ley se cumple y hay una relación proporcional entre la concentración y la absorbancia de los estándares.

Según la regresión lineal, se obtuvo la ecuación de la recta $y = 0,0121x + 0,0047$ en el caso del calcio, con dicha recta se calculó la concentración de calcio presente en la muestra de agua potable. Tomando en cuenta que la concentración recomendada de calcio corresponde a 100 mg/L y la concentración experimental obtenida de $20,6 \pm 0,8 \text{ mg/L}$ (ver Figura 2), se evidencia que el valor experimental está muy por debajo del valor máximo permitido. La ecuación de la recta del magnesio corresponde a $y = 0,2664x + 0,047$ de la cual se obtiene una concentración igual a $3,5 \pm 0,2 \text{ mg/L}$ (ver Figura 2), el valor recomendado es de 30 mg/L Mg^{+2} , de tal manera que la concentración obtenida es considerablemente baja respecto al valor recomendado.

Figura 2. Resultados obtenidos en los parámetros de calcio, magnesio, cloruros y cadmio en el agua ensayada.



El coeficiente de variación para las concentraciones de calcio corresponde a 0,24 % y el del magnesio es de 1,44 %, en ambos casos inferior al 2 %, lo cual indica que la variabilidad entre los datos es aceptable. Así que, se puede decir que las muestras de agua potable analizadas cumplen con los criterios establecidos por el Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S (2015), para los parámetros del control operativo, nivel primero y nivel segundo, hasta aquí reflejados y discutidos.

Para Rodríguez (2009), el calcio y el magnesio son minerales muy importantes y los podemos encontrar tanto en los alimentos que no están procesados, como en las aguas minerales naturales. Las aguas minerales naturales provienen de manantiales naturales y es ésta la que contiene las sales minerales esenciales para mantener el equilibrio perfecto de nuestro organismo. Cada mineral cumple funciones específicas que ayudan al correcto funcionamiento del cuerpo humano.

El magnesio se desprende de las rocas y va a parar al agua; este tiene muchos propósitos y consecuentemente finaliza en el agua de maneras muy distintas. La industria química añade magnesio a los plásticos y a otros materiales como una medida de protección contra el fuego o como material de relleno. También finaliza en el medio ambiente como fertilizante y como alimentación de ganados (LENNTECH, sf).

También, se determinó la concentración de cloruros, cuyo fin es conocer la concentración de cloruro de las muestras de agua potable. El valor recomendado corresponde a 25 mg/L Cl⁻ y el obtenido es de (2,1±0,7) % Cl⁻ lo cual equivale a 210 mg/L Cl⁻ (ver Figura 2) siendo un valor excesivo, pero dentro del límite ya que el valor máximo permitido es 250 mg/L Cl⁻. El coeficiente de variación es de 1,99 %. Los contenidos de cloruros en las aguas naturales no suelen sobrepasar los 50-60 mg/l. Un contenido elevado de cloruros puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal. El aumento en cloruros de un agua puede tener orígenes diversos. Si se trata de una zona costera puede deberse a infiltraciones de agua del mar. En el caso de una zona árida el aumento de cloruros en un agua se debe al lavado de los suelos producido por fuertes lluvias. En último caso, el aumento

de cloruros puede deberse a la contaminación del agua por aguas residuales. (Ambientum, sf).

Finalmente, en el caso del cadmio, la regulación lo evalúa en el tercer nivel y permite su presencia en 0,003 mg/L (Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S, 2015); al realizar el análisis se encuentra una concentración de 1,68 ± 0,07 mg/L (ver Figura 2) valor sumamente alto comparado con el máximo permitido. Lo que podría generar afectaciones en la salud, ya que la mayor parte del cadmio que ingresa al cuerpo va a los riñones y al hígado y puede permanecer allí durante años. La desviación estándar relativa obtenida fue de 1,55 %.

Una pequeña cantidad de cadmio que entra al cuerpo es eliminada lentamente en la orina y las heces. El cuerpo puede transformar a la mayor parte del cadmio a una forma que no es perjudicial, sin embargo, demasiado cadmio puede sobrecargar la capacidad del hígado y los riñones para transformar el cadmio a la forma menos dañina. Se puede sufrir de irritación grave del estómago, lo que produce vómitos y diarrea y en ciertas ocasiones la muerte. Ingerir niveles de cadmio más bajos durante un período prolongado puede producir acumulación de cadmio en los riñones. Si se alcanza un nivel suficientemente alto, se producirá daño del riñón (ATSDR, 1999).

VII. Conclusiones

El agua suministrada en el Asentamiento El Barón, en Esparza Puntarenas cumple con las especificaciones de los parámetros analizados del control operativo, nivel primero y nivel segundo del Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S, lo cual genera tranquilidad aparente en la población por los controles establecidos para garantía de calidad del agua para consumo humano, aunque es importante profundizar con análisis contemplados en el nivel tercero.

La concentración de cadmio presente en las muestras analizadas (1,68 mg/L) sobrepasan por mucho el valor máximo admisible por el reglamento (0,003 mg/L); y la alta presencia de cadmio en el agua puede traer consecuencias en la salud a mediano plazo, ya que hasta

una exposición baja puede provocar daños en los riñones e hígado, así como aumentar la fragilidad en los huesos. Tras situaciones como esta evidenciada, es recomendable realizar un monitoreo de la situación imperante en la calidad del agua de la comunidad implicada, con el fin de establecer si los resultados son sostenidos en el tiempo e identificar posibilidades de afectación o influencia en un parámetro dado.

Asimismo, la concentración de cloruros está muy por encima de los valores de alerta que establece el reglamento respectivo, aunque no está por fuera del valor máximo admisible; razón por lo cual se debe prestar atención a este parámetro en particular, y ante situaciones como esta, se considera relevante que se realice un monitoreo del parámetro en particular para asegurar que se normaliza la situación, además de realizar más pruebas contempladas en el nivel tercero del reglamento, con el fin de obtener un perfil más completo en lo que respecta a presencia de metales pesados y otros, para inferir alguna eventual afectación por fertilizantes, agroquímicos en general, u otras fuentes de contaminación que puedan considerarse latentes en la zona.

Derivado de este estudio, se evidencia la importancia que reviste el estar realizando monitoreos de la calidad del agua potable que se consume en los distintos poblados y comunidades del país, que a pesar de que es reconocido internacionalmente que Costa Rica es uno de los países que mejor custodia y asegura la calidad en el recurso hídrico, siempre es normal que se presenten situaciones puntuales que afectan la calidad del agua en un momento dado, por lo cual es vital generar las alertas correspondientes para que se realicen estudios como este, que permitan dimensionar una afectación específica y se comuniquen para ser tratado y atendido por los medios establecidos a través de las ASADAS, como responsables de velar por la potabilidad del agua en las distintas regiones del país.

VIII. Bibliografía

- Aguilar, O; Navarro, B. (2018). *Evaluación de la calidad de agua para consumo humano de la comunidad Llañucancho el distrito de Abangay*. Universidad Tecnológica de los Andes. Perú.
- Ambientum. (sf). Determinación de Cloruro. Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales. Escuela Universitaria Politécnica. Universidad de Sevilla. Disponible en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_cloruro.asp [Consulta 20 abr. 2020].
- ATSDR. (1999). Resumen de Salud Pública Cadmio. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.pdf [Consulta 20 abr. 2020].
- Auge, M. (2007). *Agua Fuente de Vida*. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- AyA. (2004). Ley Constitutiva Instituto Costarricense Acueductos y Alcantarillados. Disponible en: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=37097&nValor3=39114&strTipM=TC [Consulta 20 abr. 2020].
- Cabrerizo, D.M.; Antón, J.L; Barrio, J. (2008) *Física y Química*. Editorial EDITEX, España. Pp123
- Calderón, C; Orellana, V. (2015). *Control de calidad del agua potable que se distribuye en los campus: central, hospitalidad, Balzay, Paraíso, Yanuncay y las Granjas de Iriquis y Romeral*. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Conant, J. (2005). *Agua para vivir: Cómo proteger el agua comunitaria*. Fundación Hesperian. PNUD. California. 52p.

- Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S. (2015). Ministerio de Salud, Costa Rica. Disponible en: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC [Consulta 20 abr. 2020].
- Garita, P. (2005). *Análisis del riesgo de contaminación de diez nacientes utilizadas por la empresa de servicios públicos de Heredia para el abastecimiento de agua potable*. Universidad de Costa Rica. San Jose, Costa Rica. 120p.
- Espinoza, A; Morera, A; Mora, D; Torres, R. (2004). *Calidad del agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas*. CR. Organización Panamericana de la Salud; Ministerio de Salud José. 40 p.
- Gramajo, B. (2004). *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco*. Universidad de Sn Carlos, Guatemala.
- Goyena, G. (2007). *Conductividad*. Editorial: RED MAPSA. Disponible en: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf [Consulta 28 nov. 2019].
- Groover, M.P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Editorial Pearson, México. Pp 75.
- Guerrero, E. & Córdoba, R. (2006). *La aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión de los recursos hídricos: un análisis de estudios de caso en América Latina*. UICN, Ecuador. 78 p
- Hernández, C. (2016). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 Millas de Matina, Limón*. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Hidalgo, J. (2010) *Tratado de Enología*. Ediciones Mundi-Prensa, España. Pp795
- Jiménez, B.E. (2001) *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Editorial Limusa, México. Pp129-130
- Lampoglia, T; Agüero, R; Barrios, C. (2008). *Orientaciones sobre Agua y Saneamiento para Zonas Rurales*. Asociación Servicios Educativos Rurales. OMS-OPS - CEPIS. 55p.
- LENNTECH. (sf). Water treatment solutions. Disponible en: <https://www.lenntech.es/magnesio-y-agua.htm> [Consulta 20 abr. 2020].
- Marín, R. (2006). *Características Físicas, Químicas y Biológicas de las aguas*. Córdoba, España. Disponible en: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf [Consulta 28 nov. 2019].
- Ministerio de salud y protección social. (2005). Dirección De Epidemiología Y Demografía Grupo ASIS. *Análisis de Situación de Salud según regiones Colombia*. Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/An%C3%A1lisis%20de%20situaci%C3%B3n%20de%20salud%20por%20regiones.pdf>.
- Mora, D; Portugués, C. (2003). *Situación de cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica al año 2002*. Instituto Costarricense de Acueductos Y Alcantarillados, Laboratorio Nacional De Aguas. p.27
- ONU. (2010). Organización de las Naciones Unidas, NY. Resolución 64/292: el derecho humano al agua y el saneamiento, aprobada por la asamblea general el 28 de julio de 2010. Nueva York. Disponible en: http://www.watertariff-for-vulnerable.org/documents/resolution64292_SP.pdf [Consulta 28 nov. 2019].

- OMS. (2006). *Guías para la calidad del Agua Potable* (3ra edición ed., Vol. I). Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf [Consulta 28 nov. 2019].
- OMS (2012). Organización Mundial de la Salud, CH. Agua, saneamiento y salud: Progresos sobre el agua potable y saneamiento. Ginebra. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2012/fast_facts/es/ [Consulta 28 nov. 2019].
- OPS. (2004). Organización Panamericana de la Salud, US. *Salud y agua*. Disponible en: <http://www.cor.ops-oms.org/TextoCompleto/configuredList.aspx?catid=6&cattitle=Saud+y+Ambient> [Consulta 28 nov. 2019].
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región de Occidente. SCIELO, Costa Rica.
- RAE. (2015). Disponible en: <http://www.rae.es/search/node/agua> [Consulta 28 nov. 2019].
- Ramos, R; Sepúlveda, R; Villalobos, F. (2002). *El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis*. Universidad Autónoma de Baja California, 210 p.
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. *Revista Pensamiento Actual*, Universidad de Costa Rica. Vol. 9, No. 12-13, 125-134.
- Valencia, A. (2016). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano, en la cabecera municipal de Riosucio departamento del Chocó-Colombia*. Universidad de Manizales, Colombia.
- Walton, H., Reyes, J. (1983). *Análisis químico e instrumental moderno*. Editorial Reverte, Barcelona. Pp 243-252.
- Zhen, B. (2009). *Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca quebrada Victoria, Curubande*. Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica.