



Revista Arbitrada Venezolana
del Núcleo Costa Oriental del Lago



mpacto *Científico*

Universidad del Zulia

Diciembre 2022
Vol. 17 N° 2

ppi 201502ZU4641
Esta publicación científica en formato digital
es continuidad de la revista impresa
Depósito Legal: pp 200602ZU2811 / ISSN:1856-5042
ISSN Electrónico: 2542-3207

 **Impacto Científico**

**Revista Arbitrada Venezolana
del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago**

Vol. 17. N°2. Diciembre 2022. pp. 287-304

Tratamiento de aguas provenientes de pozos para el abastecimiento de pequeñas comunidades (Tratamiento de aguas de pozos)

**Yaxcelys Caldera*, Eudardo Rincón*, Yoalis González* y
Edixon Gutiérrez****

**Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Núcleo Costa Oriental
del Lago. Universidad del Zulia. Cabimas, estado Zulia, Venezuela.*

***Centro de Investigación del Agua. Facultad de Ingeniería.
Universidad del Zulia. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.*

**yaxcelysc@gmail.com. orcid:0000-0002-4862-9313;
orcid:0000-0002-6199-9837; orcid:0000-0002-7131-8492
y orcid:0000-0002-9468-3644*

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar los métodos de tratamiento de las aguas provenientes de pozos para el abastecimiento de pequeñas comunidades. La investigación fue de tipo descriptiva, con un diseño de campo. Se visitaron 18 viviendas con pozos privados en el estado Zulia de Venezuela y se recabó información mediante una encuesta a los propietarios, indagando acerca de la calidad, uso y tratamiento de las aguas de pozos. Los resultados demostraron que las aguas de los pozos no reciben tratamiento y son percibidas como salobres, con apariencia turbia y coloración amarilla. El agua es usada en la preparación de alimentos, aseo personal, higiene del hogar, lavado de la ropa, riego y consumo. Entre las alternativas de tratamiento se encontraron: desinfección, aireación, ablandamiento, sedimentación, ósmosis inversa, filtración y remoción de arsénico. Se recomienda realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas para seleccionar un método o sistema de tratamiento que permita mejorar su calidad.

Palabras clave: agua, calidad, desinfección, pozos, tratamiento.

Treatment of water from wells for the supply of small communities (treatment of water from wells)

Abstract

The objective of this research was to analyze the methods of treating water from wells for the supply of small communities. The research was descriptive, with a field design. Eighteen houses with private wells in the state of Zulia (Venezuela) were visited, and information was collected through a survey of the owners, inquiring about the quality, use and treatment of well water. The results showed that the waters of the wells do not receive treatment and are perceived as brackish, with a cloudy appearance and yellow coloration. The water is used in food preparation, personal hygiene, home hygiene, laundry, irrigation and consumption. Among the treatment alternatives were: disinfection, aeration, softening, sedimentation, reverse osmosis, filtration, and removal of arsenic. It is recommended to carry out the physicochemical and microbiological characterization of the waters to select a treatment method or system that allows improving its quality.

Keywords: water, quality, disinfection, wells, treatment.

Introducción

La calidad del agua es uno de los principales indicadores del desarrollo sostenible y es esencialmente un campo de la salud ambiental (Villena, 2018). En los últimos años, la evaluación de la calidad del agua se ha tornado un tema crítico considerando que el agua dulce puede llegar a ser un recurso escaso en el futuro cercano. Razón por la cual, el agua subterránea representa gran importancia como fuente de abastecimiento municipal y para uso doméstico e industrial en muchos centros urbanos (Fernández y Du Mortier, 2005).

Venezuela ha sufrido un proceso de degradación de la calidad de las aguas debido a la creciente existencia de actividades causantes de alteraciones de los factores físicos, químicos y biológicos que determinan su calidad. En la actualidad, ante los problemas de racionamiento y baja calidad del agua, muchos habitantes deben recurrir a comprar agua embotellada o contratar camiones cisternas. También en zonas populares, los vecinos se han visto obligados a pagar por el acarreo de agua hasta sus viviendas. En los sectores con mayor capacidad adquisitiva de la ciudad, los residentes están recurriendo a la perforación de pozos de agua (Álvarez y col., 2018).

Una de las zonas afectadas por las interrupciones en el suministro de agua es la Costa Oriental del Lago, en el estado Zulia, Venezuela. Específicamente, el municipio Santa Rita no contó con servicio de agua potable por la red de distribución durante el año 2019, por esta razón, los habitantes de las diferentes parroquias de este municipio se han visto en la necesidad de buscar alternativas para obtener el recurso agua, optando por la construcción de pozos perforados en los alrededores de sus viviendas (Comisión para los Derechos Humanos del Estado Zulia, Codhez, 2019).

La calidad del agua subterránea es definida por su composición y por el conocimiento de los efectos que pueden causar sus constituyentes. Se clasifica de acuerdo con los límites establecidos y los usos para los cuales es apta, entre los cuales se encuentran el uso humano, agrícola, industrial o abrevadero de ganado. Las aguas destinadas para el consumo humano, deben presentar características físicas, químicas y biológicas, que no perjudiquen la salud del ser humano. Para ello se establecen normas de potabilidad, donde se indican las concentraciones máximas aceptables y máximas admitidas. Mientras que, la aptitud del agua subterránea destinada para la actividad agrícola varía según el cultivo, pero generalmente debe contener pocos cloruros y sulfatos, y los nitratos no deben superar el límite de potabilidad establecido. También influyen en la aptitud del agua para el riego: la permeabilidad, la calidad del suelo y el sistema de riego (Collazo y Montaña, 2012).

De esta manera, las aguas subterráneas de acuíferos profundos y confinados son habitualmente inocuas desde el punto de vista microbiológico, y químicamente estables si no existe contaminación directa; sin embargo, los acuíferos poco profundos o no confinados pueden estar expuestos a contaminación por las descargas o filtraciones asociadas a las prácticas agropecuarias (por ejemplo, de agentes patógenos, nitratos y plaguicidas), las redes de saneamiento y alcantarillado locales (agentes patógenos y nitratos) y los residuos industriales (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2006). Se ha demostrado que los vertederos a cielo abierto y las descargas de aguas sin tratar, son una fuente puntual de contaminación de las aguas subterráneas, incidiendo de manera directa en la calidad del agua del acuífero (Orozco y col., 2008).

Generalmente, el agua subterránea poco profunda no debe usarse como fuente de agua de consumo sin una protección o tratamiento que garantice su inocuidad. Se ha comprobado que el tratamiento del agua en los hogares es una forma eficaz de mejorar la salud pública. El monitoreo de las operaciones de tratamiento será función del tipo de tecnología utilizada (OMS, 2006).

Sin embargo, el agua de los pozos se destina para todo uso, principalmente para: uso doméstico, abrevar al ganado y cultivar hortalizas en pequeñas superficies (Chávez y col., 2013). Para que el agua de estas fuentes sea inocua, normalmente deberá ser tratada y almacenarse protegida de la contaminación. Muchos de los procesos de tratamiento del agua utilizados en los hogares son los mismos que los empleados en sistemas de abastecimiento (OMS, 2006).

Cuando se diseñan sistemas de abastecimiento de aguas, deberán tenerse en cuenta todos los factores de la calidad del agua en la selección de tecnologías para la extracción y tratamiento de los recursos hídricos nuevos. La capacidad corrosiva de algunas aguas subterráneas puede afectar a la integridad de las bombas y del revestimiento de los pozos sondeo, aumentando hasta niveles inaceptablemente altos la concentración de hierro en el agua y ocasionando, en último término, roturas y reparaciones costosas. Este fenómeno puede reducir tanto la calidad como la disponibilidad del agua de consumo y hacer peligrosa la salud pública (OMS, 2006).

En este sentido, para el tratamiento de aguas subterráneas se han recomendado varios métodos que abarcan sistemas convencionales y no convencionales. No obstante, Rodríguez (2012) plantea que la eliminación de contaminantes en aguas mediante metodologías tradicionales es extraordinariamente costosa, por lo que se hace imprescindible el desarrollo de tecnologías simples, eficientes y de bajo costo para la eliminación in situ de las sustancias como arsénico, metales pesados y compuestos orgánicos recalcitrantes, entre otros. Propone tecnologías solas o en combinación, que no requieran equipamiento o desarrollos tecnológicos sofisticados o caros, ni altos consumo de energía. Entre las alternativas destaca las que solo necesitan la acción permanente del sol, puesto que pueden aplicarse a nivel domiciliario en zonas rurales donde hay fuerte contaminación orgánica e incidencia por la industria minera, convirtiendo el agua en apta para el consumo humano.

Entre estas tecnologías de descontaminación propuestas por Rodríguez (2012) se encuentran: (1) tecnología DSAUI (descontaminación de agua en unidades individuales) donde se trata eficientemente la contaminación microbiológica con los rayos solares que actúan por combinación de la radiación ultravioleta (UV-A) y la infrarroja, sobre el agua almacenada en botellas de plástico, (2) el método RAOS (remoción de arsénico por oxidación solar), que agrega citrato (como jugo de limón) al agua de las botellas plásticas (que generalmente contienen sales de hierro), y la exposición al sol conduce a la formación de un precipitado de hidróxido de hierro que flocula y puede filtrarse fácilmente, y (3) la fotocatalisis heterogénea que emplea como insumo básico el dióxido de titanio, TiO_2 , el cual absorbe la componente UV del sol y genera centros oxidantes altamente reactivos que destruyen de esta manera los contaminantes.

En este orden de ideas, Cabañas y col. (2019) expresan que la fotólisis (luz ultravioleta) tiene un efecto bactericida que no es suficiente para especies resistentes. Al adicionar un catalizador (fotocatalisis) se produce un efecto que se basa en la generación de radicales hidroxilo que atacan a los componentes de la pared celular de los organismos, alterando su funcionalidad y conduciendo hacia la muerte celular, dando como resultado un tratamiento efectivo para la inactivación de microorganismos resistentes.

Debido a lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta investigación fue analizar los métodos de tratamiento de las aguas provenientes de pozos para el abastecimiento de la comunidad de Santa Rita estado Zulia, Venezuela.

Materiales y métodos

Este estudio se considera de tipo descriptivo con un diseño de campo (Arias, 2006). El área de estudio en esta investigación estuvo representada por la población del municipio Santa Rita, ubicado al noroeste de la Costa Oriental del Lago, estado Zulia, Venezuela, siendo sus límites los siguientes: norte: municipio Miranda; este: municipio Miranda; sur: municipio Cabimas, y oeste: Lago de Maracaibo (Foto 1).

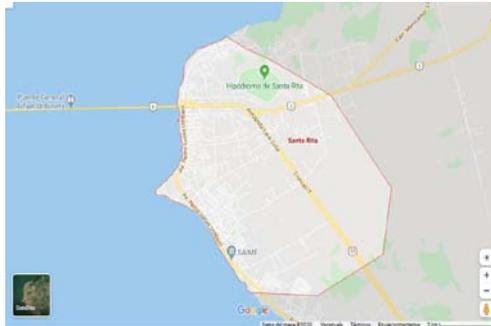


Foto 1. Área de estudio en esta investigación, municipio Santa Rita, estado Zulia, Venezuela.
Fuente: Google Maps (2020).

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2014), el municipio Santa Rita contaba con una población de 59.866 habitantes para el año 2011. Es una población que tiene pocas calles, a través de la avenida Pedro Lucas Urribarrí se conecta con los municipios Cabimas y Miranda y con el puente sobre el Lago de Maracaibo. La principal actividad económica es la pesca de peces y camarones. El municipio tiene un hospital, varios ambulatorios y muelles.

Según información suministrada por la alcaldía del municipio Santa Rita, la población en el sector seleccionado para el momento de la investigación fue de 5.000 habitantes. Se trabajó con una muestra no probabilística, donde la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de la toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores (Hernández y col., 2010). Es así como la muestra quedó conformada por 18 habitantes (jefes de familia) de esta comunidad que tienen pozos construidos en áreas adyacentes a sus viviendas, dentro del terreno de su propiedad y que permitieron el acceso a estos durante el año 2019. Es importante destacar que las personas mostraron receptividad para suministrar la información, sugiriendo no identificar la ubicación geográfica de los pozos, razón por lo cual en esta investigación no se especifica el área muestreo ni se describe su localización.

La recolección de los datos se realizó utilizando como técnica la encuesta; mientras que, el cuestionario permitió recoger y almacenar la información. Se validó el

cuestionario por juicio de expertos, donde participaron seis especialistas en ingeniería ambiental y educación ambiental. Posteriormente, se elaboró la versión final del cuestionario y se aplicó en el sector, obteniendo de esta manera la información referida a la calidad, uso y tratamiento del agua proveniente de los pozos.

Resultados y discusión

En el diagnóstico realizado en la comunidad del municipio Santa Rita, se evidenció que presentan problemas de suministro y distribución de agua potable, con más de un año sin abastecimiento (Codhez, 2019), razón por la cual han optado por perforar pozos en áreas adyacentes a sus viviendas, convirtiéndose el agua de pozo en el principal suministro para las diferentes actividades cotidianas que requieren del vital líquido.

Los pozos se construyeron por el método de taladrado manual combinado en algunos casos con el método hincado (Bellido, 2004). Los pozos son de construcción reciente (entre 6 y 24 meses), poco profundos (6 a 10 m) y están ubicados en las adyacencias de las viviendas, sin considerar normativas ambientales para la localización de pozos destinados al abastecimiento de agua potable, los cuales deben estar alejados de fuentes de contaminación (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1997). Además, los pozos no cuentan con plataforma o piso de protección sanitaria elevado sobre el terreno, ni con desagüe apropiado a fin de alejar los derrames (Collazo y Montaña, 2012). El agua es extraída por bombas eléctricas colocadas en la superficie de los pozos y no han realizado mantenimiento a los pozos.

Con relación a calidad del agua, los habitantes la perciben como salobre, con apariencia turbia y coloración amarilla. Aun así recibe varios usos: preparación de alimentos, aseo personal, higiene del hogar, lavado de la ropa y riego de áreas verdes. Solo en seis (6) viviendas consumen el agua de pozos. Además manifestaron que no realizan tratamiento al agua de pozos.

En el Decreto 883 de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1995), se establecen las normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, donde se clasifican las aguas para uso doméstico y con fines agropecuarios, tipo 1 y tipo 2, respectivamente (Cuadro 1). En cuanto a las aguas tipo 1, la norma establece que son aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que esta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él. Mientras que las tipo 2, son aguas destinadas a usos agropecuarios. Además la norma establece los niveles de calidad o límites exigidos para cada tipo de agua.

Cuadro 1. Clasificación de las aguas tipo 1 y 2, según su uso en Venezuela

Clasificación	Características
Subtipo 1A	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
Subtipo 1B	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
Subtipo 1C	Aguas que pueden ser acondicionadas por procesos de potabilización no convencional.
Subtipo 2A	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
Subtipo 2B	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.

Fuente: *Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1995)*

Según esta normativa, las aguas subtipo 1A son de mejor calidad y solo necesitan un proceso de desinfección para cumplir con parámetros establecidos. Mientras que, se entiende por tratamientos convencionales aquellos que constan de las etapas de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración. También establece que un tratamiento diferente a estos es considerado no convencional.

El tipo de tratamiento para mejorar la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas depende de la fuente. Se han propuesto varios métodos de tratamiento para las aguas subterráneas extraídas de pozos profundos y someros. Entre las alternativas de tratamiento para las aguas provenientes de pozos, cuando se confirma la contaminación microbiológica, se encuentra la desinfección. Córdoba y col. (2010) mencionan que las aguas subterráneas sufren filtración natural a través de su paso por las estructuras filtrantes del subsuelo durante el proceso de captación, razón por la cual son generalmente de buena calidad y no necesitan tratamiento o solo muy poco. Sin embargo, la adición de cloro antes de su distribución para abastecer de agua a una comunidad disminuye aún más el grado de contaminación.

En este sentido, antes de aplicar un tratamiento de desinfección, la primera medida es examinar el pozo para garantizar que no tiene defectos estructurales que puedan haber favorecido la contaminación. Posteriormente, debe efectuarse una “cloración de choque”, con el empleo de concentraciones de cloro de 100 a 400 veces la cantidad presente en los suministros de aguas municipales. Es aconsejable que el propietario del pozo consulte con el servicio de sanidad u otros expertos. Si la contaminación bacteriana persiste a pesar de los esfuerzos para una desinfección continua, pueden

estar presentes factores naturales o estructurales fuera del control del propietario del pozo. Esto puede requerir el cierre del pozo y la perforación de uno nuevo (*Committee on Environmental Health y Committee of Infectious Diseases*, 2009).

Asimismo, Vélez (2017) refiere que es necesario desinfectar las aguas de pozos a fin de descartar la presencia de contaminación microbiológica. Recomienda la aplicación de técnicas o métodos sencillos a nivel domiciliario como adición de cloro y el calentamiento hasta alcanzar su punto de ebullición. Sugiere que la cloración se realice en los pozos de recolección primaria o de distribución, en donde con facilidad se pueda calcular la dosis de cloro a requerirse para eliminar la presencia bacteriana. A nivel domiciliario, con la finalidad de complementar y asegurar la inocuidad del agua, propone someter el agua a calentamiento hasta alcanzar su punto de ebullición, la cual es una práctica muy usual que se hace en las cocinas de la población. Según Chávez y col. (2013) hay familias que hierven el agua para beber, sin embargo, la mayoría la consumen directamente porque no perciben una relación entre el agua de pozo y los problemas de salud.

Por otra parte, Robles y col. (2010), caracterizaron fisicoquímica y microbiológicamente aguas provenientes de tres pozos de un acuífero, que reciben tratamiento de desinfección pasando por un dosificador cloro antes de ser consumidas por los habitantes del sector. Resaltaron la importancia del proceso de cloración puesto que permite que los parámetros de las aguas se encuentren dentro de los límites permisibles por las normativas ambientales, que establecen ausencia de coliformes totales y fecales, lo que las hace aptas para el uso y consumo humano.

La desinfección y descontaminación con luz solar para tratar aguas de pozos fue propuesta por Rodríguez (2012). Utilizó la tecnología DSAUI exponiendo al sol por algunas horas botellas de plástico con aguas de pozos, observando influencia positiva del pintado externo de la mitad inferior de la botella con pintura negra, que provocó un aumento de la temperatura y de la eficiencia de la destrucción de *Escherichia coli* (20 %) en las botellas pintadas respecto de las botellas sin pintar. Recomienda el método empleado por su sencillez y economía en la remoción de bacterias; además, podría ser aplicado de manera masiva por la población rural como alternativa para obtener agua potable.

Cabañas y col. (2019) evaluaron la eficiencia de la fotocatalisis (TiO_2 + luz) y la fotólisis (luz) durante el tratamiento de aguas provenientes de pozos de poca profundidad (8 m). Reportan que la fotocatalisis permitió eliminar un mayor porcentaje de coliformes que la fotólisis. La fotocatalisis eliminó microorganismos patógenos en las condiciones naturales a las que se extrajo el agua, alcanzando porcentajes de remoción de coliformes de 53,7 % con una concentración de 1 mg/mL de TiO_2 y un tiempo de reacción de 60 minutos. Refieren que la fotocatalisis con TiO_2 es una técnica versátil y efectiva para la eliminación de patógenos y contaminantes químicos de las aguas. Kopper y col. (2009) recomendaron a las autoridades la implementación de acciones dirigidas a potabilizar el agua de consumo directo o indirecto, mediante la

utilización de filtros para remover impurezas, la aplicación de hipoclorito de sodio, el uso de luz ultravioleta o hervir el agua.

La calidad del agua subterránea puede ser diferente en los pozos monitoreados, con respecto al pH, color aparente, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruros, sulfatos, sodio, dureza total, hierro, ortofosfatos, metales pesados y manganeso, mostrando la influencia de las características propias de cada pozo. Además, las variaciones en su composición fisicoquímica y microbiológica dependen de varios factores, entre los cuales se destacan: la ubicación de los pozos (cercanías a las fuentes de contaminación), la construcción y protección del pozo (cierre hermético y plataforma de protección sanitaria) y el tipo de pozo (comunitario, privado, profundo y somero). En función de estas características las aguas podrían convertirse en no aptas para ser utilizadas como agua potable, en estos casos las recomendaciones van dirigidas a tratamientos convencionales y no convencionales (Robles y col., 2010; Valenzuela y col. 2012; Chibinda y col., 2017; Gutiérrez y col., 2018).

De esta manera, Castro y col. (2018) después de los análisis respectivos a aguas de pozos pudieron apreciar que ciertos pozos presentan dureza, hierro, color, turbiedad, manganeso, flúor y sulfatos. Concluyeron que para disminuir los valores de estos parámetros se requiere un tratamiento fisicoquímico en una planta convencional para su desinfección y almacenamiento.

Un sistema de tratamiento para la potabilización de aguas subterráneas provenientes de pozos profundos para eliminar la dureza, hierro y manganeso, cloruros, salinidad y coliformes, acondicionando el agua para el consumo humano, fue propuesto por Chirino y col. (2018) y está conformado por ablandamiento, filtración, aireación, osmosis inversa y desinfección con cloro (Figura 1). Describieron el sistema de tratamiento de la siguiente manera: el agua subterránea que proviene de los pozos se conduce por tuberías a través de un sistema de bombeo a la planta de potabilización, ingresando a un tanque de ablandamiento con hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) para eliminar la dureza (calcio y magnesio). Posteriormente, el agua pasa a una etapa de filtración con aireación que permite la oxidación de hierro y manganeso. Luego llega a una unidad de ósmosis inversa donde se elimina el exceso de cloruros y salinidad provenientes del agua subterránea. Finalmente, se aplica un proceso de desinfección química con hipoclorito de sodio (NaOCl) para alcanzar la calidad del agua establecida para el consumo humano.

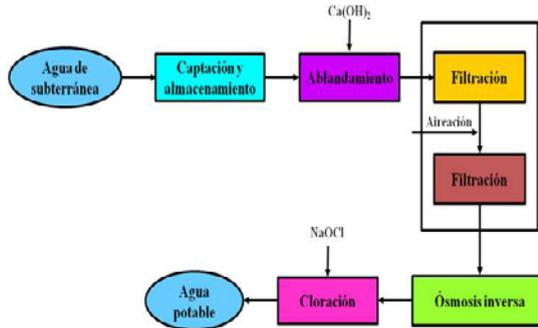


Figura 1. Sistema de tratamiento propuesto para aguas subterráneas provenientes de pozos profundos.

Fuente: Chirino y col. (2018)

Se ha recomendado a los propietarios de pozos privados determinar las concentraciones de arsénico, por lo menos dos veces al año (verano e invierno) puesto que el consumo continuo en corto tiempo podría perjudicar la salud (Washington State Department of Healthy, 2010). Entre otros métodos de tratamiento propuestos para eliminar los contaminantes presentes en las aguas de pozos, tales como arsénico, se encuentra la aplicación de la radiación solar ultravioleta y se han desarrollado sistemas de tratamiento caseros simples de aplicación inmediata, utilizando botellas de polietileno (PET).

Escalera y col. (2014), propusieron un sistema de tratamiento piloto construido con materiales reciclables, mediante el proceso de remoción asistida por oxidación solar (RAOS), basado en la aplicación de colectores solares para la remoción de arsénico de aguas provenientes de pozos profundos. Obtuvieron remociones mayores a 80 %, logrando reducir la concentración de arsénico hasta valores por debajo de lo requerido en la norma ambiental de agua potable. La planta piloto consistió en un tanque de aireación con aspersores comerciales, cuatro fotorreactores, un sedimentador de placas, un tanque de almacenamiento y un microfiltro comercial.

Por su parte, Escalera (2016), evaluó la eficiencia de un sistema de tratamiento basado en aireación-filtración, integrado por un tanque de aireación provisto de aspersores comerciales y dos microfiltros comerciales de polipropileno dispuestos en serie, para la remoción de hierro y arsénico en aguas provenientes de pozos con bajas concentraciones de hierro total (Figura 2). Obtuvieron remociones máximas de hierro total y arsénico total de 78 % y 41%, respectivamente. Recomendaron el sistema para un caudal máximo de agua de 160 L/día.

La Organización Panamericana de Salud (OPS, 2013) refiere que la mayor parte de las aguas subterráneas son limpias, de buen gusto y frías; sin embargo, su paso a través de algunas capas del suelo puede hacerlas desagradables en cuanto al sabor, repelentes,

corrosivas o duras, conteniendo carbonato de calcio y magnesio, sulfatos, cloruros, hierro y manganeso. Los métodos que se emplean para tratar el agua dependen, en gran parte, del uso que se le dará al agua. Para mejorar la calidad del agua proveniente de pozos propone metodologías de sencilla y fácil aplicación, con la finalidad de tratar el agua para que sea apta para el consumo humano, tales como cloración, filtración (arena y carbón), ablandamiento, ósmosis, luz ultravioleta y ozono directo a los tanques. Adicionalmente, recomienda métodos para el tratamiento doméstico como la filtración artesanal o industrial y la desinfección agregando cloro y mediante ebullición (hervir el agua).

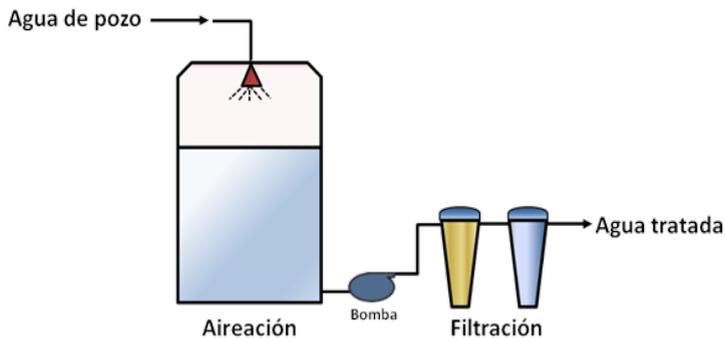


Figura 2. Sistema de tratamiento para aguas de pozos integrado por aireación-filtración.
Fuente: Escalera (2016)

Adicionalmente, existe una variedad de alternativas comerciales para el tratamiento de las aguas de pozos. Estos sistemas de tratamiento comerciales se utilizan para purificar y eliminar impurezas de todo tipo de aguas de pozos (pozos excavados, pozos hincados y pozos perforados, entre otros). Los distribuidores y fabricantes recomiendan que para tener el sistema de tratamiento de agua correcto y más eficiente, se deben analizar correctamente las características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas del agua, tales como: contaminantes químicos, bacterias, malos sabores, olores, hierro, manganeso, sólidos totales disueltos, pH, calcio, dureza, alcalinidad, turbidez, arsénico, nitratos, sulfatos, cloruros, sodio, plomo y plaguicidas, entre otros. Además, se debe tener una comprensión fundamental de cómo funciona el sistema de agua de pozo. Entre las propuestas para un amplio espectro de contaminantes se encuentra el sistema de ósmosis inversa con filtros de carbón activado, mientras que los esterilizadores de agua ultravioleta (UV) se presentan para la desinfección del agua (Pure Aqua, Inc., 2020).

En el Cuadro 2 se observan de forma resumida las tecnologías comerciales propuestas por Scalebuster (2020), así como algunas ventajas y desventajas de cada método. Entre las tecnologías se encuentran la desinfección (luz ultravioleta o cloro), filtración, ósmosis inversa y descalcificación. La combinación de estos métodos da

lugar a sistemas de tratamiento para la potabilización de las aguas de pozos. Una de las propuestas es el sistema de tratamiento ultravioleta con prefiltración (Suvap) que está integrado por dos filtros y un efectivo esterilizador UV que permite la eliminación de microorganismos. En cuanto a los filtros, el primero denominado filtro de sedimentación, elimina las partículas y sedimentos; mientras que, el segundo es un filtro de carbón activado para eliminar el olor, color y sabor del agua.

Berdonces (2008) menciona que las aguas de pozo son de buena calidad y requieren poco tratamiento. Sin embargo, el tratamiento depende del estado inicial que presente el agua, ya que puede requerir tratamientos adicionales a la desinfección. Expone que se comercializan muchos purificadores de agua domésticos que en su mayoría son filtros de arena o carbón activado, así como también sistemas más completos que incluyen ósmosis inversa, que sin duda es el más costoso.

Cuadro 2. Tecnologías comerciales para el tratamiento de las aguas de pozos

Método de tratamiento	Beneficios	Inconvenientes
Luz ultravioleta (UV)	<p>No requiere de sustancias químicas.</p> <p>No hay subproductos en la desinfección.</p> <p>Instalación sencilla.</p> <p>Efectivo frente a <i>Cryptosporidium</i>.</p> <p>No modifica el sabor ni el olor del agua.</p>	<p>Generalmente requiere de tratamiento previo (descalcificadores en zonas de aguas duras).</p> <p>Algunos virus necesitan de una dosis alta de UV.</p>
Cloro	<p>Reduce algunos sabores/ olores desagradables.</p> <p>Proporciona desinfección residual.</p> <p>Puede ayudar a extraer el hierro y el manganeso del agua.</p>	<p>Requiere almacenamiento/ uso de sustancias químicas nocivas.</p> <p>Requiere un control continuo de los niveles de cloro.</p> <p>A menudo necesita de un tanque de contacto.</p> <p>Requiere una instalación profesional.</p> <p>Puede alterar el olor y el sabor del agua.</p> <p>Es corrosivo.</p> <p>Puede generar subproductos dañinos.</p>

Filtros	Puede eliminar algunos olores y sabores desagradables.	No son soluciones independientes. Los filtros pueden eliminar algunos microbios grandes, pero no desinfectan completamente.
Ósmosis inversa	Filtra muchos contaminantes del agua. No utiliza sustancias químicas.	Puede desperdiciar entre 4 y 10 litros de agua, por cada litro de agua tratado. Puede desmineralizar el agua. Reduce el pH. Puede requerir de tratamiento previo. A menudo, requiere de una instalación profesional. La mayoría de equipos no desinfectan
Descalcificadores de sal	Son utilizados como tratamiento previo para aguas duras o para otras condiciones de tratamiento de agua.	Requiere una instalación profesional. No desinfectan.
Descalcificadores sin sal	Son utilizados como tratamiento previo para aguas duras o para otras condiciones de tratamiento de agua	Requiere una instalación profesional. No desinfectan.

Fuente: *Scalebuster (2020)*

El sistema consiste en una cadena de tratamiento que primero disminuye la dureza del agua, luego se prefiltra para retener partículas más gruesas, posteriormente pasa por un filtro de carbón activado para finalmente llegar al equipo de ósmosis inversa. En algunos casos, se agrega un sistema de intercambio iónico que permite la eliminación de los nitratos del agua.

Según la OPS (2013) la vigilancia comunitaria de la calidad del agua para consumo humano constituye una acción fundamental en el nivel local, que contribuye a elevar el nivel de vida de la población mediante acciones de prevención, vigilancia de la calidad del agua y el saneamiento básico, reduciendo así la morbi-mortalidad de origen hídrico. También, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 2017; 2018), recomienda a los propietarios de pozos privados tomar precauciones para garantizar la seguridad del agua, ya que es su responsabilidad proteger el pozo, analizar la calidad

del agua, identificar los problemas potenciales cerca de su hogar y de la comunidad y tener en cuenta fuentes comunes de contaminación potencial del agua subterránea.

Según Gil y col. (2019) existen algunos tratamientos domésticos para las aguas subterráneas que no son de alto costo y se pueden aplicar fácilmente permitiendo su almacenamiento y consumo seguro. Mencionan entre estos métodos de depuración la sedimentación, filtración, desinfección, tratamiento físico basado en aplicación de calor y tratamiento con radiación. Por su parte, Prato y col. (2020) refieren que las aguas extraídas de tres pozos de Los Andes venezolanos deben ser sometidas previamente a tratamientos convencionales de filtración, coagulación y desinfección o cloración antes de ser utilizadas para abastecimiento humano.

Después de este análisis se evidencia que existen varios métodos convencionales y no convencionales que podrían mejorar la calidad de las aguas de los pozos en la comunidad de Santa Rita. Es necesario que se caractericen las aguas desde el punto de vista organoléptico, fisicoquímico y microbiológico, para luego seleccionar el método o sistema de tratamiento más apropiado. Entre las opciones se encuentran: filtración, aireación, sedimentación, eliminación de gases, ablandamiento, ósmosis inversa, desinfección por técnicas o métodos sencillos a nivel domiciliario como la aplicación de dosis de cloro, el calentamiento hasta alcanzar su punto de ebullición y la radiación solar (luz ultravioleta), destacándose la fotólisis y la fotocátalisis (TiO_2 + luz). Para la remoción de arsénico se ha propuesto la remoción asistida por oxidación solar (RAOS) y descontaminación de agua en unidades individuales (DSAUI). Adicionalmente, se han combinado algunos de los métodos mencionados con la finalidad de lograr la eliminación de varios contaminantes.

Conclusiones

Los habitantes de la comunidad de Santa Rita, estado Zulia Venezuela, perciben el agua de pozos como salobre, con apariencia turbia y coloración amarilla. Sin embargo, recibe varios usos, tales como preparación de alimentos, aseo personal, higiene del hogar, lavado la ropa y riego de áreas verdes. Así como, consumo en seis viviendas.

Los propietarios de los pozos desconocen la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas y no realizan tratamiento al agua antes de los diferentes usos.

Entre las alternativas de tratamiento para las aguas provenientes de pozos de la comunidad de Santa Rita se encuentran: desinfección con cloro, luz ultravioleta y ebullición, aireación, ósmosis inversa, ablandamiento, sedimentación, filtración y remoción de arsénico.

Se recomienda caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente las aguas de pozos para determinar el tipo de tratamiento que se requiere para mejorar la calidad según los diferentes usos que recibe en las viviendas del municipio Santa Rita.

Referencias bibliográficas

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, USEPA. (2017) ¿Qué puede hacer para proteger su pozo privado? Actualizado el 19 de abril de 2017. (Consulta: 05 abril 2021). Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/que-puede-hacer-para-proteger-su-pozo-privado>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, USEPA. (2018). Acerca de los pozos de agua privados. Actualizado el 25 de enero de 2018. (Consulta: 10 marzo 2021). Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/acerca-de-los-pozos-de-agua-privados>
- Álvarez A., Novo I. y Luy A. (2018). #SinAgua. Situación del derecho al agua potable en Venezuela: Caso Área Metropolitana de Caracas. Coalición Clima21-Fundación Tierra Viva. Caracas, Venezuela.
- Arias F. (2006). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. Quinta Edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.
- Bellido A. (2004). Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales. Organización Panamericana de la Salud, OPS; Organización Mundial de la Salud, OMS; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPI. Lima, Perú. (Consulta: 20 abril 2020) Disponible en: <https://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%203%20Bombeo/Manual%20de%20perforaci%C3%B3n%20manual%20de%20pozos%20con%20bombas%20manuales.pdf>
- Berdonces J. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina Naturista* 2(2), 69-75.
- Cabañas D., Mota V. y Ruiz J. (2019). Luz solar y TiO₂ para eliminar patógenos contenidos en agua de pozo: comportamiento de la fotocatalisis. *Ingeniería* 23(1), 1-13.
- Castro L., Chalen J., Chávez G. y Cadena W. (2018). Evaluación de la calidad de aguas subterráneas para el consumo humano en el cantón Colimes de Balzar de la Provincia de Guayas. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigaciones* 3(ICCE), 43-49.
- Chávez M., Rivera G., Romero T. y Vizcarra I. (2013). El pozo: usos, seguridad y tradición en la subcuenca del río San Javier. *Estudios Sociales* XXI(41), 262-286.
- Chibinda C., Aranda M. y Pérez N. (2017). Caracterización por métodos físico-químicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del pozo La Calera. *Revista Cubana de Química* 29(2), 303-321.

Chirino N., Cancino J. y Molina M. (2018). Caracterización de aguas subterráneas en el municipio Buchivacoa (Venezuela) con fines de tratamiento. *Revista de Investigación* 11(1), 27-38.

Collazo M. y Montaña J. (2012). *Manual de agua subterránea*. Primera Edición. Editorial Denad Internacional S.A. Montevideo, Uruguay.

Comisión para los Derechos Humanos del Estado Zulia, Codhez. (2019). Situación general de los derechos humanos en el estado Zulia. Boletín de julio 2019, 1-7. (Consulta: 6 marzo 2021). Disponible en: <http://www.codhez.org>

Committee on Environmental Health y Committee of Infectious Diseases. (2009). Consumo de agua de pozos particulares y riesgos para niños. *Pediatrics* (Ed. Esp.). 67 (7), 363-369.

Córdoba M., Del Coco V. y Basualdo J. (2010). Agua y Salud humana. *Química Viva* 9(3), 105-109.

Escalera R. (2016). Remoción de arsénico en aguas subterráneas con bajas concentraciones de hierro mediante microfiltros comerciales. *Investigación & Desarrollo* 16(1), 39-48.

Escalera R., Ormachea M., Ormachea O. y Heredia M. (2014). Presencia de arsénico en aguas de pozos profundos y su remoción usando un prototipo piloto basado en colectores solares de bajo costo. *Investigación & Desarrollo* 14(2), 83-91.

Fernández A. y Du Mortier C. (2005). Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. En Blesa M. y Blanco J. (eds): *Solar Safe Water*. Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del aire. 17-32. UNSAM. Buenos Aires, Argentina.

Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.298. (1997). Normas sanitarias para la ubicación, construcción, protección, operación y mantenimiento de pozos perforados destinados al abastecimiento de agua potable. Decreto 2.048. Extraordinario, de fecha 24 de septiembre. Caracas, Venezuela.

Gaceta Oficial de la República de Venezuela, N° 5.021. (1995). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Decreto 883. Extraordinario, de fecha 18 de diciembre. Caracas, Venezuela.

Gil J., Vizcaino C. y Veliz C. (2019). Evaluación de la calidad del agua subterránea utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Acuíferos de Maturín, estado Monagas, Venezuela. *Revista de Investigación Agroproducción Sustentable* 3(3), 9-23.

Google Maps (2020). (Consulta: 6 junio 2020). Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Santa+Rita+4020,+Zulia/@10.5616734,-71.5067713,11840m/>

data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1sox8e89bc0561b41c01:0x9a44e84c490937a7!8m2!3d10.5653665!4d-71.4893013?hl=es

Gutiérrez J., Marín J. y Paris M. (2018). Calidad de agua subterránea en el sector Centro Occidental del municipio Miranda del estado Zulia (Venezuela). *Aqua-LAC* 10(2), 38-45.

Hernández R., Fernández C. y Batista, P. (2010). Metodología de la investigación. Quinta Edición. McGraw-Hill. México.

Instituto Nacional de Estadística, INE. (2014). XIV Censo nacional de población y vivienda 2011. Resultados por entidad federal y municipio del estado Zulia. Diciembre 2014. (Consulta: 14 marzo 2021). Disponible en: <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/zulia.pdf>

Kopper G., Calderón G., Schneider S., Domínguez W. y Gutiérrez G. (2009). Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico. Estudio de caso en Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua. Informe técnico sobre ingeniería agrícola y alimentaria. Capítulo 6. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO.

Organización Mundial de la Salud, OMS. (2006). Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice. Vol. 1. Recomendaciones. Tercera edición. (Consulta: 20 junio 2020). Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/es/

Organización Panamericana de Salud, OPS. (2013). Guía rápida para la vigilancia sanitaria del agua. Acciones para garantizar agua segura a la población. República Dominicana: Ministerio de Salud Pública. (Consulta: 14 marzo 2020). Disponible en: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/4341/Guia_para_la_vigilancia_del_agua_VERSION_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Orozco C., Ramírez F. y Cruz J. (2008). Aguas subterráneas de pozos artesanales y efluentes hídricos en la Costa de Chiapas (México). *Hig. Sanid. Ambient.* 8, 348-354.

Prato J., Millán F. y Prada C., Tănăselia C., Prado L., Lucena M., Ríos I., González L. (2020). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas subterráneas de un sector rural a baja altitud en Los Andes venezolanos. *Kamera*, 48(1), e-48131414. doi: 10.5281/zenodo.3861081

Pure Aqua, Inc. (2020). Sistemas de ósmosis inversa y tratamiento de agua a nivel mundial. (Consulta: 26 junio 2020). Disponible en: <https://es.pureaqua.com/sistemas-de-tratamiento-de-agua-de-pozo/>

Robles E., Ramírez E., Ayala R., Durán A., Sáinz M., Martínez M., Martínez B. y González M. (2010). Calidad del agua de tres pozos de la zona centro del acuífero Cautla-Yautepec, Morelos, México. *BIOCYT* 3(11), 159-175.

- Rodríguez J. (2012). *Tecnologías económicas para la descontaminación de agua en zonas rurales*. Primera Edición.: Editorial Guzlop-editoras. Lima, Perú
- Scalebuster (2020). Como potabilizar el agua de pozo. Guía para propietarios de pozos privados. (Consulta: 12 junio 2020). Disponible en: <https://www.scalebuster.es/consejos/como-potabilizar-agua-de-pozo/>
- Valenzuela E., Godoy R., Almonacid L. y Barrientos M. (2012). Calidad microbiológica del agua de un área agrícola-ganadera del centro sur de Chile y su posible implicancia en la salud humana. *Rev. Chilena Infectol.* 29(6), 628-634.
- Vélez Y. (2017). Mejoramiento de la calidad del agua de pozo a partir de un tratamiento fisicoquímico para su utilización como agua de consumo humano en el distrito de Vegueta. *Big Bang Faustiniiano* 6(3), 19-22.
- Villena J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Pública.* 35(2), 304-308. doi: /10.17843/rpmesp.2018.352.3719.
- Washington State Department of Health. (2010). Pozos privados. Información para los dueños. ECY Pub. 06-11-021, DOH: 331-349. 1-5. (Consulta: 3 abril de 2021). Disponible en: <https://www.doh.wa.gov/portals/1/Documents/pubs/331-349s.pdf>