

Factores ponderados en el tratamiento de aguas subterráneas en el estado Falcón

Weighted factors in groundwater treatment in Falcón state

Noel Acacio-Chirino^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-0795-7628>

¹ Departamento de Química, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda U.N.E.F.M., Santa Ana de Coro, Estado Falcón, Venezuela

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: noelacacio@gmail.com

RESUMEN

Esta investigación estuvo basada en aplicar el método de factores ponderados para caracterizar un esquema de tratamiento que permita adecuar las características de las aguas subterráneas del municipio Buchivacoa. Los análisis de laboratorio realizados arrojaron que los pozos tienen concentraciones en diferentes rangos de sólidos disueltos totales, dureza, hierro, manganeso y cloruros que están sobre el tope permitido por las normas venezolanas. Igualmente, el agua de los pozos es salobre. Las sesiones de grupo conformadas por los investigadores y personal técnico de la Alcaldía del Municipio Buchivacoa permitieron la ponderación de los factores establecidos para la selección de procesos y tecnologías de tratamiento. El esquema de tratamiento propuesto incluye procesos de potabilización convencional y no convencional: desinfección, filtración, ablandamiento, aireación y desalinización. Las tecnologías seleccionadas que tuvieron mayor puntaje al aplicar el método fueron ablandamiento con cal, aireación-filtración a presión, ósmosis inversa y cloración.

Se recomienda validar el esquema de tratamiento propuesto a escala piloto para certificar los procesos de tratamiento y/o incluir otros procesos adicionales. Dentro de las implicaciones socio-económicas esta investigación constituye un aporte esencial para el beneficio de los consumidores de agua en la comunidad y en otras localidades, la cual en los actuales momentos está siendo distribuida de forma no convencional y que no se conoce su prescripción sanitaria.

Palabras clave: factores ponderados; tratamiento; aguas subterráneas.

ABSTRACT

This research was based on applying the method of weighted factors to characterize a treatment scheme that allows adapting the characteristics of the groundwater of the Buchivacoa municipality. The laboratory analyzes showed that the wells have concentrations in different ranges of total dissolved solids, hardness, iron, manganese, and chlorides that are above the limit allowed by the Venezuelan standards. Likewise, the water from the wells is brackish. The different group sessions with the researchers and technicians of the municipal government of the Buchivacoa municipality allowed the weighting of the established factors for the selection of treatment processes and technologies, the established treatment scheme is contained in conventional and non-conventional purification processes: disinfection, filtration, softening, aeration, and desalination. The selected technologies that had the highest score when applying the method were softening with lime, pressure aeration-filtration, reverse osmosis and chlorination. It is recommended to validate the proposed treatment scheme on a pilot scale to certify the treatment processes and/or include other additional processes. Within the socio-economic implications, this research constitutes an essential contribution for the benefit of water consumers in the community and in other localities, which at the present time is being distributed in an unconventional way and whose sanitary prescription is not known.

Keywords: weighted factors; treatment; groundwater.

Recibido: 15/01/2023

Aceptado: 18/04/2023

Introducción

La calidad del agua es un tema de gran importancia. El artículo 304 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, establece que todas las aguas son bienes de dominio público de la Nación, insustituibles para la vida y el desarrollo. La ley establece las disposiciones necesarias a fin de garantizar su protección, aprovechamiento y recuperación, respetando las fases del ciclo hidrológico y los criterios de ordenación del territorio.⁽¹⁾ Esto otorga al estado venezolano la responsabilidad de garantizar el recurso hídrico a todos los habitantes de la nación.

El municipio Buchivacoa está enmarcado en el occidente falcóniano con una población de 22,897 habitantes y su capital Capatárída. Sus orígenes se remontan a la época prehispánica, surge en 1,644 en un antiguo asentamiento de indios Caquetíos. Fue capital del Gran Estado Falcón en los años 1,822 a 1,890. Posee una superficie de 2,657 km.² limita al norte con el Mar Caribe, al oeste con el Municipio Mauroa del Estado falcón, al este con el Municipio Democracia y Urumaco y al sur con el Municipio Dabajuro del Estado Falcón y Municipio Torres del Estado Lara. Este municipio está dividido en 7 parroquias, Bariro, Borojó, Capatárída, Goajiro, Seque, Valle de Eroa y Zazárída.⁽²⁾

Considerando la importancia de las aguas subterráneas en el suministro para diferentes usos, surge la necesidad de ofrecer una alternativa para el

aprovechamiento de las fuentes de las aguas subterráneas localizadas en las comunidades del Municipio Buchivacoa del Estado Falcón ya que la distribución de agua potable en el municipio se realiza principalmente por cisternas, lo que genera un gasto económico a la alcaldía. Las comunidades cuentan con 32 pozos los cuales están a resguardo de los consejos comunales, pero no reciben ningún tipo de tratamiento.

Teniendo en cuenta lo antes planteado el objetivo fundamental de la presente investigación fue aplicar el método de factores ponderados para la selección de tecnologías de tratamiento que conforman los procesos de potabilización de aguas subterráneas en el municipio Buchivacoa del estado Falcón, a partir de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, con el fin de establecer un esquema único de tratamiento que permita adecuar las características de las mismas para el consumo humano. Se dispone en la literatura de diversos procesos que comprenden tecnologías de tratamiento para el tratamiento de aguas, pero se requiere precisar las que aplican al tratamiento de las aguas de la zona estudiada para que en un posterior desarrollo de la investigación se permita llegar a la etapa piloto para validar este esquema propuesto.

Debido a la localización geográfica del municipio Buchivacoa, el mismo se delimitó en tres zonas de estudio (zona Borojó y Seque, zona Zazárida y zona Capatárida), tal como se muestra en las figuras 1, 2 y 3.

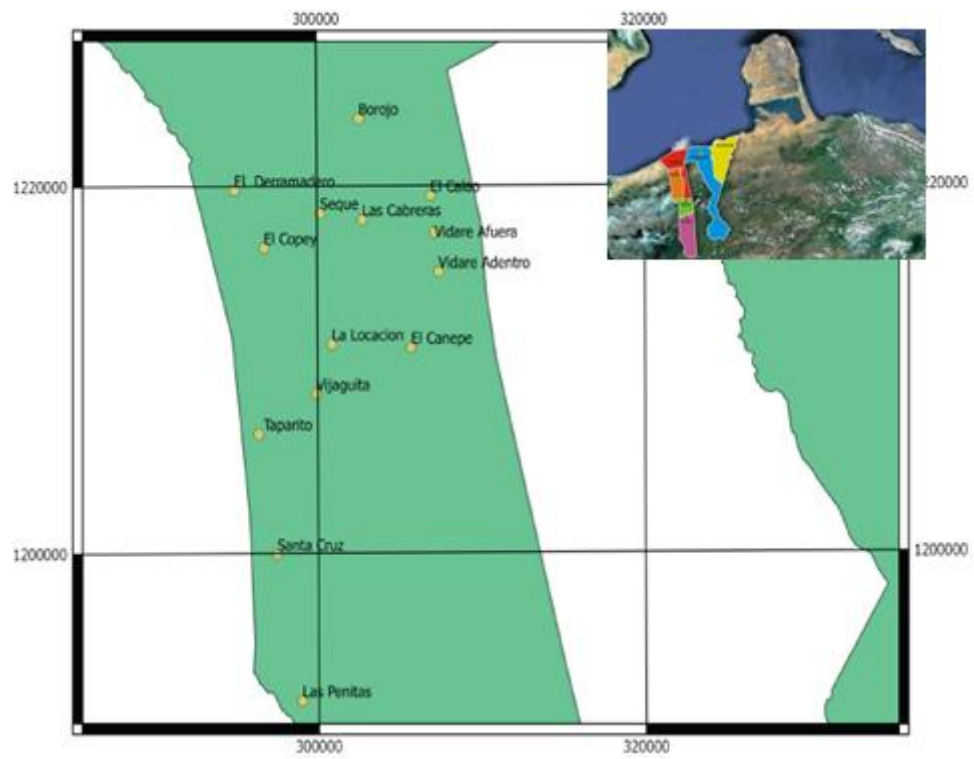


Fig. 1- Ubicación de los pozos zona Borojó y Seque



Fig. 2- Ubicación de los pozos zona Zazarida

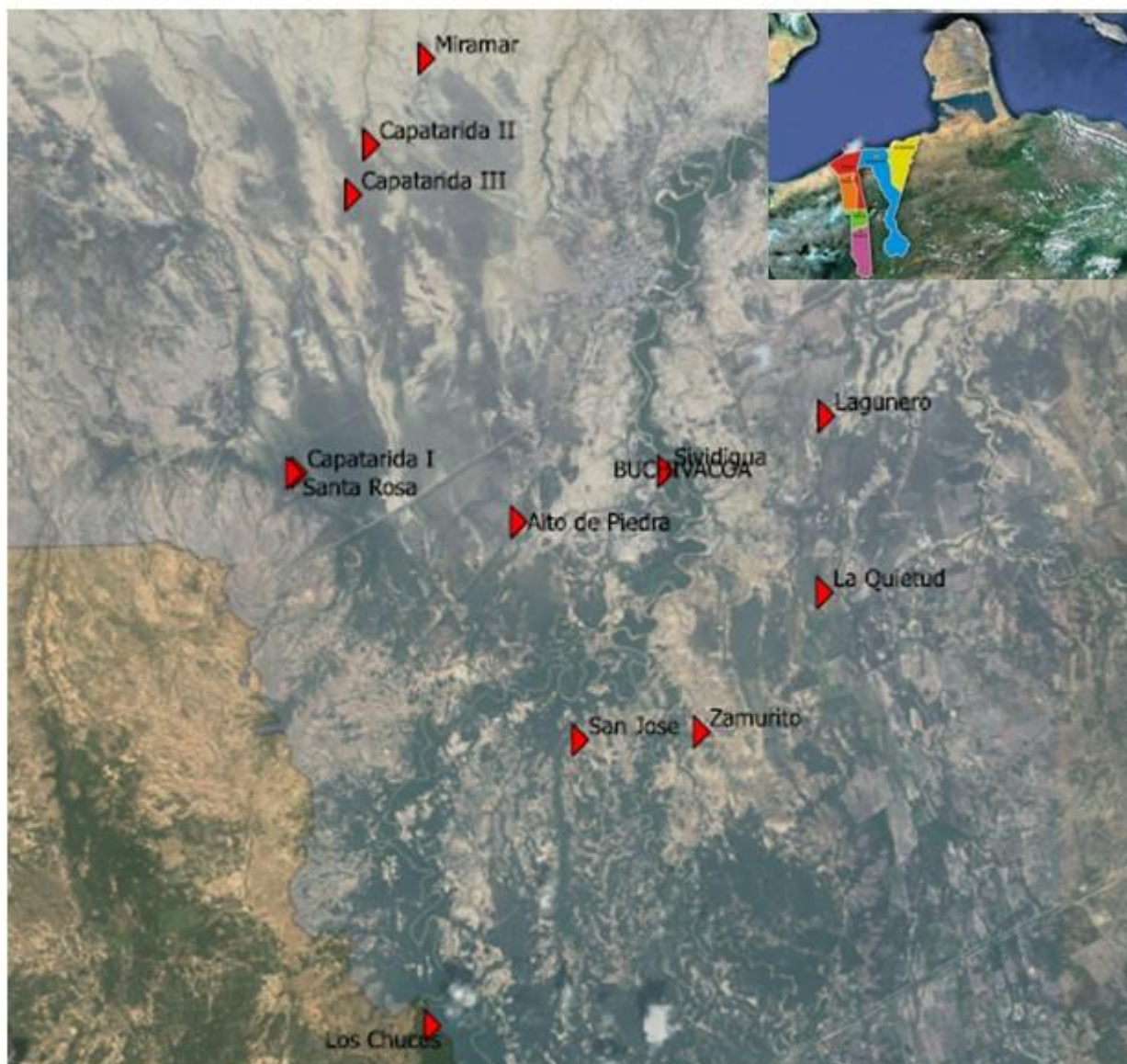


Fig. 3- Ubicación de los pozos zona Capatárda

En un estudio de caracterización de aguas subterráneas en el municipio Buchivacoa, ⁽³⁾ se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica para clasificar las aguas subterráneas de tres zonas del municipio Buchivacoa con el fin de proponer un esquema de tratamiento. Metodológicamente, el trabajo se sustenta en una investigación no experimental, tipo de campo, bajo un nivel

descriptivo, asumiendo una postura transeccional. Consistió en realizar muestreos por bombeo en treinta y dos (32) pozos ubicados en las zonas: Borojó y Seque, Zazárida y Capatárida. Asimismo, los análisis de laboratorio siguieron la metodología del *Standard Methods* para identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua, establecidas en las normas sanitarias de calidad del agua potable.⁽⁴⁾

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza completamente aleatorizado y prueba de Tukey mediante el software *Statistix 10*. Fisicoquímicamente se pudo apreciar que algunos pozos tienen concentraciones en diferentes rangos de sólidos disueltos totales, dureza, hierro, manganeso y cloruros que están sobre el tope permitido por las normas venezolanas.⁽⁴⁾ Igualmente, el agua de los pozos es salobre (0,1-1,9 ppt). Microbiológicamente para el 75% de los pozos los resultados para coliformes, *Escherichia coli*, *Salmonella* y esporas de bacilos aerobios mesófilos productores de viscosidad fueron negativos. Con el análisis de la varianza se concluye que para los parámetros clave a controlar en el proceso de potabilización, no hay diferencias entre las medias de las concentraciones en las tres zonas estudiadas, lo que apunta a un esquema único de tratamiento. Según las “Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de agua y vertidos o Efluentes Líquidos”, las aguas se pueden clasificar en los subtipos 1B: Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración. y Sub Tipo 1C: Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional (ablandamiento, aireación, ósmosis inversa).⁽⁵⁾

Esta investigación proporcionó la información sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos realizados a los pozos del municipio Buchivacoa, tal como se resume en la figura 4.

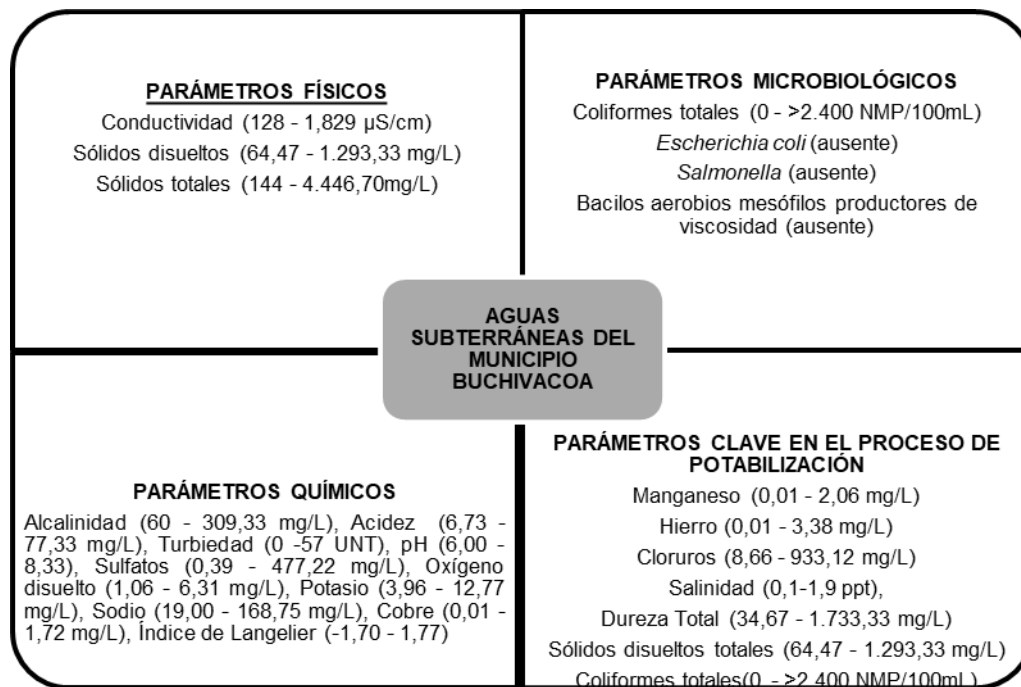


Fig. 4- Resumen de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos realizados a las aguas subterráneas en el municipio Buchivacoa. ⁽³⁾

Fundamentación teórica

En una investigación donde se diseñó un sistema a escala piloto para la remoción de hierro y manganeso en el pozo Bariro Municipio Buchivacoa del Estado Falcón ⁽¹²⁾, se tomó una muestra diaria por cuatro semanas para un total de 20 muestras, los parámetros analizados fueron concentración de hierro, concentración de manganeso, pH, Índice de Langelier, color y turbidez. Se identificó la tecnología adecuada a través del método estadístico ponderación aditiva utilizando variables para cada tecnología. Los resultados promedio obtenidos de la caracterización son: pH: 7,5; índice de Langelier: -1,044; Color: 121; turbidez: 14 NTU; Hierro total: 1,276 mg/L; Manganeso: 0,3034 mg/L, valores por encima de lo establecido para el agua potable. ⁽⁴⁾

El sistema de remoción de hierro y manganeso lo conforman dos filtros verticales de 0,38 m de diámetro y 0,5 m de altura, conectados en paralelo, y un compresor de 1 hp, que de forma integrada trabajan en función para disminuir la concentración de hierro y manganeso presente en el agua. La evaluación se llevó a cabo en un periodo de una semana y cuya valoración permitió analizar el número de repeticiones para la realización de las pruebas. La reducción de manganeso es menor que la de hierro debido a que el pH que tiene el agua proveniente del pozo es bajo en comparación a lo requerido para el proceso de oxidación del manganeso. Se logró una disminución de 88,32% y 38,46% de las concentraciones de hierro y manganeso respectivamente, así como la disminución en 95,45% en disminución de color y un 77,7% de turbidez.

Un estudio sobre aguas subterráneas en zonas costeras realizado en la isla de San Andrés, Colombia, ⁽⁶⁾ permitió evaluar la viabilidad de la implementación de alternativas de potabilización del agua subterránea en las islas de San Andrés y Providencia, a través del análisis de la eficacia de los estudios específicos realizados de tratamientos de potabilización implementados en otras zonas de estudio similares, se evaluaron los aspectos relacionados con la composición de los suelos y su influencia sobre la calidad de las aguas subterráneas de las islas, las cuales se abastecen de agua subterránea y que presentan contaminación por ión cloruro, intrusión marina, materia fecal y compuestos nitrogenados, lo que acarrea problemas de salud pública. Se consultó la información sobre la calidad del agua subterránea de 2,900 pozos, así como las alternativas de potabilización utilizadas en el país.

Esto permitió conocer que los pozos presentan concentraciones de detergentes: 1 mg/L, amonio: 925 mg/L, nitratos: 157 mg/L, nitritos: 925 mg/L, cloruros: 6,761 mg/L, sulfatos: 311,2 mg/L, dureza total: 852,04 mg/L, pH: 7,32, sólidos disueltos totales: 2.571,87 mg/L y coliformes fecales y enterococos por encima del límite de permisibilidad para el consumo humano.

Se concluye que las aguas subterráneas presentan deterioro en su calidad por la sobreexplotación de acuíferos e infiltración de aguas residuales provenientes de

pozos sépticos, causando contaminación por ión cloruro, intrusión marina, materia fecal y compuestos nitrogenados, también presentan altas concentraciones de iones calcio, magnesio y sulfatos debido a las interacciones de los acuíferos con las rocas.

Las técnicas implementadas para el tratamiento de aguas subterráneas en la isla son la desalinización por ósmosis inversa en aguas salobres, mientras que para las aguas duras se implementa tratamiento químico con coagulantes empleando cal para su tratamiento, sin embargo, existen otras técnicas que son empleadas en diversos países como la nanofiltración, ósmosis inversa y electrodiálisis, las cuales han dado resultados óptimos en el ablandamiento de aguas duras por lo que podrían implementarse en San Andrés. Para la desinfección por la presencia de bacterias, se adiciona hipoclorito de sodio, sin embargo, sería interesante contemplar el uso de otras alternativas como la desinfección electroquímica y fotocátalisis, las cuales resultan ser eficientes y no generan subproductos como la cloración.

Las aguas subterráneas tienen una mayor oportunidad de disolver materiales por las mayores superficies de contacto, lentas velocidades de circulación y mayores presiones y temperaturas a las que están sometidas y facilidad de disolver CO_2 del suelo no saturado. Por ello sus concentraciones salinas son superiores a las de las aguas superficiales. En general son claras e incoloras. Estas características contrastan con aquellas de las aguas superficiales, y a que las aguas superficiales son generalmente turbias y contienen considerables cantidades de bacterias. Las aguas subterráneas son normalmente de calidad sanitaria superior. Su temperatura es relativamente constante, otro importante factor en algunos casos.⁽⁷⁾

Tecnologías convencionales utilizadas en el proceso de potabilización

La coagulación/floculación, sedimentación, filtración, y la desinfección son las principales tecnologías convencionales u operaciones unitarias, que intervienen en el proceso de potabilización.⁽⁸⁾

Tecnologías no convencionales utilizadas en el proceso de potabilización

En general, los procesos convencionales no tienen como objetivo la eliminación de sustancias disueltas o gases. Cuando se presentan estos problemas, se dispone de otras operaciones unitarias que son las tecnologías no convencionales, entre ellas están: el ablandamiento, la aireación, el carbón activado y la ósmosis inversa.⁽⁹⁾

Para comprender un poco más el proceso de potabilización, la tabla 1 muestra un resumen de las tecnologías convencionales y no convencionales utilizadas en el mismo a partir de los autores antes mencionados.

Tabla 1- Resumen de tecnologías no convencionales y convencionales en el proceso de potabilización del agua.^(8,9,10,11)

Tecnologías	Procesos
Convencionales	Coagulación
	Floculación
	Sedimentación
	Filtración convencional
	Desinfección
No Convencionales	Ablandamiento
	Aireación
	Carbón activado
	Ósmosis inversa

A propósito de estos procesos, el Gobierno Venezolano, a través del Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (Minea), realizó la instalación de 116 plantas desalinizadoras en las zonas costeras del país, como parte del Convenio China-Venezuela, Las plantas son manejadas por el Poder Popular, con la inspección de las hidrológicas a nivel estatal de las salas de gestión comunitaria del agua, mesas técnicas del agua y los consejos comunales.⁽¹³⁾ Se tiene proyectado la instalación de 116 plantas desalinizadoras en todo el territorio costero de Venezuela, las cuales suministrarán agua potable a las comunidades que reciben el servicio de agua por ciclos. En el estado Falcón se contará con 38 plantas las cuales abarcan algunos pozos del municipio Buchivacoa, Vargas con 9 y Miranda 10, Anzoátegui 8, Sucre 16, Nueva Esparta 32 y en el Territorio Insular 3, beneficiando a más de 850 mil habitantes.

Se precisa destacar que desde el año 2015 se han concentrado los esfuerzos por parte del gobierno a través del Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología en el desarrollo de membranas de ósmosis inversa y los motores que requieran las plantas de desalinización, fabricados en el

país, a fin de no depender de tecnologías extranjeras. Con ejecución de estos proyectos están siendo beneficiadas más de 30 mil 500 personas, quienes tendrán una solución a la problemática de agua potable.

Materiales y métodos

En la figura 5 se aprecia la aplicación del método de factores ponderados para selección de procesos y tecnologías de tratamiento aplicado a las aguas subterráneas en el municipio Buchivacoa del estado Falcón. Las sesiones de grupo estuvieron conformadas por los investigadores y personal técnico de la alcaldía bolivariana del municipio Buchivacoa.

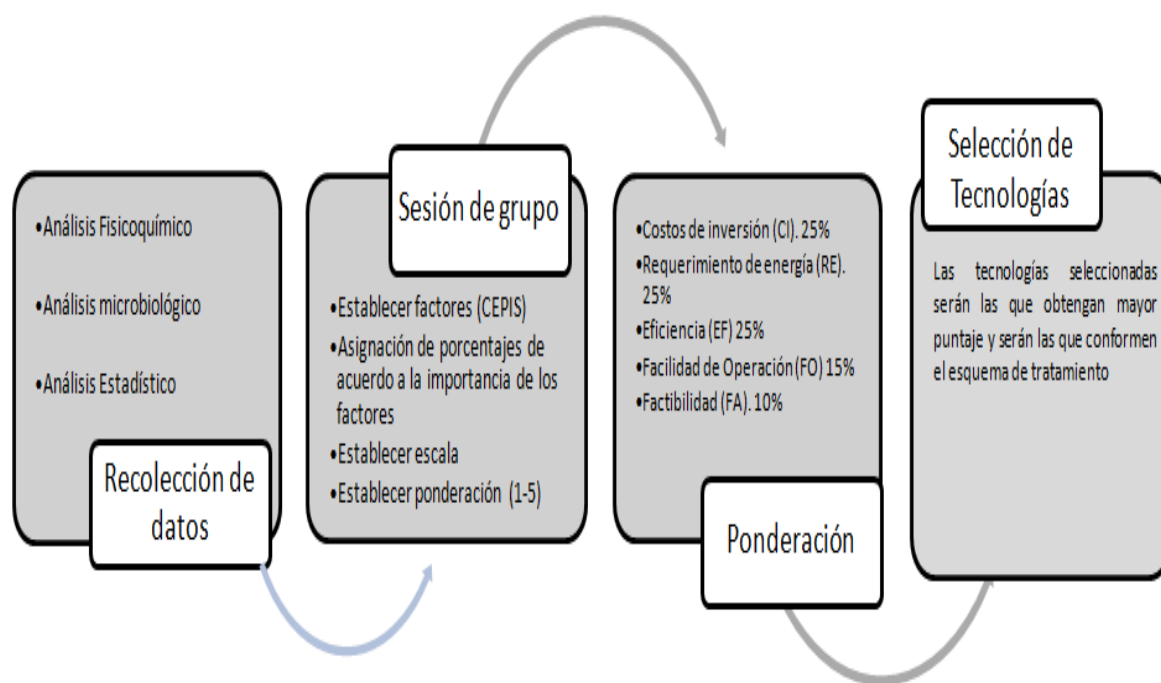


Fig. 5- Metodología propuesta en el desarrollo de la investigación

Para la selección de los procesos que conforman el sistema de tratamiento de aguas subterráneas se utilizó una matriz de factores ponderados, donde se asignaron pesos a cada factor.

Tabla 2- Escala para cada factor

Escala	Ponderación
Deficiente	1
Regular	2
Bueno	3
Muy bueno	4
Excelente	5

Asignación de porcentajes de acuerdo a la importancia de los factores o variables

El porcentaje asignado a cada factor se toma teniendo en cuenta la complejidad técnica, consumo de energía, eficiencia y coste de procesos de tratamiento de agua.⁽¹⁰⁾

Costos de inversión (CI)

El costo de inversión es el gasto económico que representa la fabricación de los equipos para la ejecución de un proceso. Este es un factor importante que hay que tomar en consideración a la hora de llevar a cabo cualquier proyecto por lo que le corresponde uno de los mayores puntajes siendo este de un porcentaje de 25%.

Requerimiento de energía (RE)

El requerimiento energético es una necesidad documentada sobre la funcionalidad de la planta de potabilización, representa la cantidad de recursos energéticos

necesarios para la operatividad de la planta y así poder suministrar el agua a la comunidad, por ser un factor importante se le asignó un porcentaje de 25%.

Eficiencia (EF)

Se refiere al poder y facultad para obtener un efecto determinado y que tan eficiente puede ser el proceso. Por lo que se realizó una investigación acerca de las ventajas y desventajas que poseen los equipos principales de cada proceso, especialmente en cuanto a los tanques, sedimentadores y filtros. A este factor le corresponde un 25 % ya que se considera igual de importante que el aspecto económico.

Facilidad de Operación (FO)

Este factor se refiere a la simplicidad para el manejo de cada equipo y del sistema en general, al cual le corresponde un 15 %.

Factibilidad (FA)

Al realizar un proyecto se debe estudiar la factibilidad del mismo es decir; si se puede llevar a cabo, tomando en cuenta la facilidad de obtener los equipos, materia prima entre otros, los cuales conforman el proceso. Corresponde el 10 % del valor total.

Resultados y discusión

Una vez establecida la escala de factores y ponderación de los mismos, se procede a multiplicar los factores y sumar el total ponderado por tecnología de tratamiento, las tecnologías seleccionadas por parámetro de potabilización a controlar serán las que obtengan mayor puntaje, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 3.

Tabla 3- Matriz de factores ponderados para la selección de procesos y tecnologías de tratamiento

Parámetros	Procesos	Tecnologías	Factores					Total
			CI 25%	RE 25%	EF 25%	FO 15%	FA 10%	
Dureza total (mg/L)	Ablandamiento	Ablandamiento con cal	5x25	5x25	4x25	5x15	5x10	475
		Ablandamiento con exceso de cal	4x25	5x25	4x25	4x15	4x10	425
		Ablandamiento del agua por zeolitas	5x25	5x25	4x25	3x15	2x10	415
		Intercambio iónico	3x25	3x25	5x25	3x15	3x10	350
Hierro (mg/L)	Aireación-filtración	Tratamiento biológico	5x25	5x25	4x25	3x15	3x10	425
Manganeso (mg/L)		Aireación-filtración a presión	5x25	5x25	5x25	4x15	4x10	475
Sólidos disueltos TDS (mg/L)	Desalinización	Ultrafiltración	3x25	4x25	5x25	5x15	3x10	375
Cloruros (mg/L)		Ósmosis Inversa	5x25	5x25	4x25	5x15	5x10	475
Salinidad (ppt)		Nanofiltración	3x25	3x25	5x25	3x15	3x10	350
Coliformes totales (NMP/100 ml)	Desinfección	Cloración	5x25	5x25	4x25	5x15	5x10	475
		Ozono	3x25	3x25	5x25	3x15	4x10	360
		Radiación ultravioleta	3x25	2x25	5x25	3x15	3x10	325

De acuerdo a la ponderación obtenida, las tecnologías seleccionadas para el tratamiento de aguas subterráneas lo conforman ablandamiento con cal para disminución de la dureza, aireación-filtración a presión para eliminar las altas concentraciones de hierro y manganeso, ósmosis inversa para la eliminación de sólidos disueltos y sales y, cloración para la desinfección.

A partir de la tecnología seleccionada y de la clasificación de los pozos estudiados, es posible obtener un esquema único que permita el tratamiento de las aguas por procesos de potabilización convencionales y no convencionales.

Descripción del proceso de tratamiento de aguas subterráneas

El agua subterránea que proviene de los pozos llega al sistema de potabilización a través de tuberías y por sistema de bombeo. Dichos efluentes ingresan a un tanque de ablandamiento con cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para eliminar la dureza causada por la presencia de iones, principalmente calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) disueltos en el agua. Posteriormente, el efluente pasa a un proceso de filtración con aireación a presión para eliminar por oxidación las concentraciones de hierro (Fe^{2+}) y manganeso (Mn^{2+}) y luego es sometido a un proceso de ósmosis inversa para eliminar el exceso de sólidos disueltos, 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.⁽³⁾

Este esquema propuesto sirve como punto de partida para ingenierizar los procesos de potabilización, lo que deberá tener el apoyo de las instituciones regionales responsables del agua y la salud de la comunidad y cumplir con los requerimientos técnicos y económicos disponibles. Los procesos presentados en el esquema se derivan de las características de los pozos agrupados por zonas, lo que representa un esquema único que permite adecuar las características de esas aguas subterráneas para el consumo de los habitantes de las localidades del municipio Buchivacoa.

El papel de una comunidad organizada para la solución a la problemática de la localidad respecto al acceso al agua potable es determinante, así como la capacitación en la administración y mantenimiento de los mismos, pues esto permite que se haga sustentable.

Conclusiones

1. La aplicación del método de actores ponderados permite establecer las tecnologías de tratamiento que componen dichos procesos, constituidas por ablandamiento con cal, aireación-filtración a presión, ósmosis inversa y cloración.
2. El esquema sugerido para el tratamiento de dureza, hierro y manganeso, salinidad y coliformes totales y termorresistentes está compuesto principalmente por procesos de ablandamiento, filtración, aireación, desalinización y desinfección.
3. Finalmente, se estableció un esquema de tratamiento no estandarizado de baja complejidad, para adecuar las características de las aguas subterráneas para el consumo de los habitantes de las localidades del municipio Buchivacoa.

Referencias bibliográficas

1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA CRBV. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, No 36.860 de fecha 30 de diciembre de 1999.
2. INE INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. *XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados por Entidad Federal y Municipio del Estado Falcón* [En línea]. Instituto Nacional De Estadística, diciembre 2014. [Consultado: 25 enero 2022]. Disponible: <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/falcon.pdf> .
3. ACACIO CHIRINO, Noel, CANCINO CAMPEROS, Jonnattan y MOLINA CÉSPEDES, Manuel. Caracterización de aguas subterráneas en el municipio Buchivacoa (Venezuela) con fines de tratamiento. *Revista De Investigación* [en línea], 2018, enero-junio. **11**(1), 27-38. [Consultado 13 febrero 2022]. ISSN 2011-639X. Disponible en: <https://doi.org/10.29097/2011-639X.177>

4. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. SG-018-98. *Normas Sanitarias de calidad de agua potable*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36.395. Caracas, 1998.
5. *Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. DECRETO 883 de 11 de octubre de 1995.
6. CASAS TAPIA, Lesma. Análisis de alternativas de tratamiento para la potabilización de aguas subterráneas en la isla de San Andrés. Tesis de especialización inédita. Universidad de Antioquia. Medellín, 2020. [Consultado 13 octubre 2022]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18144/5/CasasLesma_2020_AlternativasPotabilizacionAguas.pdf.
7. ESPINOZA, Carlos. Calidad de Agua y Contaminación de Agua Subterránea. En: *Hidráulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento* [en línea]. Chile: Universidad de Chile. 2005. [Consultado: 10 marzo 2022]. Disponible: https://www.ucursos.cl/ingenieria/2005/1/CI51J/1/material_docente/bajar?id_material=65667
8. ARBOLEDA, J. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Colombia: Acodal, 2000. ISBN: 9584100157, 9789584100153.
9. GLYNN, H. y GARY, W. *Ingeniería ambiental*. 2 da edición. México: Pearson Educación, 1999. ISBN: 970-17-0255-2
10. CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE CEPIS. (2004). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua: manual de capacitación para operadores* (tomo I-VI). Lima: CEPIS-OPS.
11. LEAL, María. *Tecnologías convencionales de tratamientos de agua y sus limitaciones* [en línea]. 2005. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,

[Consultado 13 octubre 2022]. Disponible en: https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/04_Capitulo_04.pdf

12. GUANIPA, M., RIVAS, B., RODRÍGUEZ, A., FIGUEREDO, H. Diseño de un sistema a Escala Piloto para la Remoción de Hierro y Manganeso en Aguas Subterráneas. *Revista Croizatia*, Venezuela: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Área de Investigación. 2009, **10** (1), 43-51. ISSN 1317-1194.

13. MINEC (Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo). *Plantas desalinizadoras benefician a las comunidades del eje costero del país* – Reporte en línea. 2017. Disponible en <http://www.minec.gob.ve/plantas-desalinizadoras-benefician-a-las-comunidades-del-eje-costero-del-pais/#> [Consulta: 29 septiembre 2022]

Conflictos de interés

El autor declara que no hay conflictos de intereses

Contribución de los autores

Noel Acacio-Chirino: asumió todas las tareas que conllevaron al artículo