



Revista Arbitrada Venezolana
del Núcleo Costa Oriental del Lago



mpacto *Científico*

Universidad del Zulia

Junio 2020
Vol. 15 N° 1

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. 15. N°1. Junio 2019. pp. 53-71

Dispositivo de filtración con medio granular para agua destinada al consumo humano

Iván Mendoza^{*,*}, Lorena Fuentes^{*}, Leobardo Rosario^{**}, José
Marcano^{**} y Yoalis González^{*}.**

**Universidad del Zulia. Laboratorio de Investigaciones Ambientales del
Núcleo LUZ-COL. Cabimas, Venezuela.*

***Tesisistas del LIANCOL.*

****Universidad Agraria del Ecuador
ivnmendoza@gmail.com*

Resumen

El agua es un recurso esencial en el planeta. Para obtener un agua de calidad se pueden emplear métodos basados en procesos físicos o químicos. Entre los procesos físicos se encuentran los sistemas de filtración de agua, los cuales a nivel domiciliario pueden constituir una alternativa para obtener un agua apta para consumo humano. El objetivo de este estudio fue desarrollar un dispositivo de filtración con medio granular para la purificación del agua destinada al consumo humano. Se diseñaron y construyeron tres dispositivos para la filtración del agua, se evaluó su funcionamiento mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos y coliformes totales, antes y después de filtrar aguas con turbiedades iniciales de 30 UNT, 50 UNT y 80 UNT; y se analizaron los estadísticos descriptivos para establecer su eficiencia. Los tres dispositivos son altamente eficientes en la remoción de color para los valores de turbidez que se estudian y se ajustan a los niveles permisibles (≤ 15 UC Pt/Co). Asimismo, resultan eficientes para la remoción de turbidez (D1: 81,9 %; D2: 85,5 %; D3: 92,5 %), pero la composición del dispositivo 3 es la de mayor efectividad en cuanto a los parámetros fisicoquímicos (turbidez: 3,83 UNT; color: 8,33 UC Pt/Co; pH: 6,98; alcalinidad: 16,5 mg CaCO₃/L), porque cumplen con la normativa. La eficiencia en la remoción de coliformes totales es mayor en el dispositivo 3 a 50 UNT y su índice es $\leq 5,1$ NMP/100 mL.

Palabras clave: dispositivo de filtración, medio granular, agua para consumo humano.

Granular media filtration device for water intended for human consumption

Water is an essential resource on the planet. In order to get quality water, methods based on physical or chemical processes can be used. Among the physical processes there are water filtration systems, which at the household level can be an alternative in obtaining water suitable for human consumption. The purpose of this study was to develop a granular media filtration device for water purification intended for human consumption. Three devices for water filtration were designed and constructed, their operation was evaluated by determining total physicochemical and coliform parameters, before and after filtering waters with initial turbidity of 30 NTU, 50 NTU and 80 NTU; and descriptive statistics were analyzed to establish their efficiency. All three devices are highly efficient in color removal for turbidity values that are studied and conform to the permissible levels (≤ 15 UC Pt / Co). Likewise, they are efficient for turbidity removal (D1: 81.9%; D2: 85.5%; D3: 92.5%), but the composition of device 3 is the most effective in terms of physicochemical parameters (turbidity: 3.83 NTU; color: 8.33 UC Pt / Co; pH: 6.98 and alkalinity: 16.5 mg CaCO₃ / L), because they fulfill the regulations. The efficiency in total coliform removal is higher in device 3 to 50 NTU and its index is ≤ 5.1 NMP / 100 mL.

Key words: filtration device, granular medium, water for human consumption.

Introducción

Una de las regiones más ricas en recursos hídricos es América del Sur, en la cual la cantidad de agua dulce renovable presente en la superficie terrestre y en acuíferos bajo condiciones climáticas normales es de 12.380 km³/año (Vanguardia, 2006). Sin embargo, su distribución parece no satisfacer la demanda poblacional, ya que en el mundo a comienzos del milenio se registraron 1.100 millones de personas sin acceso al agua potable y otros 2.600 millones la consumían sin un adecuado tratamiento (Neira y Bos, 2006).

Se ha estimado que, a nivel mundial, un 96 % de la población urbana utilizaba una fuente mejorada de abastecimiento de agua en 2010, comparado con un 81 % de la población rural. Ello significa que 653 millones de habitantes de zonas rurales carecían de acceso a una fuente mejorada de agua potable. En 2010, un 79 % de la población urbana tenía acceso a saneamiento mejorado en contraste con un 47 % para la población rural (ONU, 2014).

Recientemente, el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO (WWAP) indica que 2.000 millones de personas viven en países que sufren una fuerte escasez de agua, y aproximadamente 4.000 millones de personas padecen una grave escasez de agua durante al menos un mes al año. Los niveles de escasez seguirán aumentando a medida que se incremente la población y se intensifiquen los efectos del cambio climático. De hecho, como consecuencia de las deficiencias en los sistemas de abastecimiento, para el año 2019 se reportaron 780.000 muertes por

diarrea y cólera a nivel mundial. En América Latina, millones de personas carecen de una fuente adecuada de agua potable (WWAP, 2019).

Venezuela es un país con abundantes recursos hídricos, pero no están uniformemente distribuidos sobre su territorio. La mayor disponibilidad de agua está al sur del país, abarcando una zona despoblada, a la margen derecha del río Orinoco, donde habita menos del 10 % de la población. El restante 90 % de esta se ubica principalmente en el norte, dentro de un largo corredor, oeste-este, de no más de 150 km de ancho a partir de la línea de costa del Mar Caribe. Esta localización de las actividades sociales y productivas con respecto a las aguas, está generando graves problemas que son costosos de resolver para lograr el abastecimiento urbano-industrial de una serie de conurbaciones en el mencionado corredor (Gabaldón, 2013).

El estado Zulia no escapa de esta realidad, conforme a la cual, los primeros habitantes se abastecieron exclusivamente con aguas de origen subterráneo y de las riberas del lago. El abastecimiento se hacía, mayoritariamente de los pozos situados en los sectores rurales, pero debido al ritmo de crecimiento de la población, la demanda de agua se fue incrementando, siendo necesario recurrir al aprovechamiento superficial, lo cual posteriormente condujo a la construcción de plantas de tratamiento para el suministro del servicio de agua potable mediante una red de distribución por tuberías.

El agua es de vital importancia y para garantizar su calidad, debe cumplir una serie de características fisicoquímicas y microbiológicas cónsonas con las normativas establecidas a nivel nacional y mundial, las cuales se logran a través de un proceso de potabilización o purificación que comprende un conjunto de fases. Debido a que solo una pequeña proporción del agua en el planeta cumple con las características ideales para el consumo humano, la purificación representa una alternativa eficaz para potabilizar el líquido, de manera tal que pueda ser utilizada como bebida, para la higiene y en el procesamiento de los alimentos.

La purificación del agua es el proceso de eliminar elementos nocivos o contaminantes biológicos para que pueda ser ingerida de forma segura por las personas, además de ser utilizada para algún tipo de actividad médica, química o farmacológica. La idea es reducir la concentración de partículas y microorganismos patógenos en suspensión, como parásitos, bacterias, hongos, algas, virus; así como materiales que entran en el agua tras la lluvia o en la red de distribución (Vargas, 2004).

Específicamente, en la ciudad de Cabimas, estado Zulia (Venezuela), se presentan problemas en la distribución y calidad del agua, de modo que se almacena en tanques, perdiendo su calidad fisicoquímica y microbiológica; o ante la escasez, se recolectan aguas pluviales, lo cual demanda la aplicación de tratamientos adicionales a escala domiciliaria, tales como, la colocación de filtros y la adición de cloro comercial para lograr la desinfección. No obstante, los mismos no son de uso generalizado.

A escala domiciliaria se han referido en la literatura diversos métodos de tratamiento para la remoción de turbidez y microorganismos patógenos, entre los cuales se destacan los siguientes: (i) Sistemas basados en la aplicación de calor o luz

ultravioleta (hervir el agua, radiación solar, desinfección solar, lámparas de radiación UV), (ii) Tratamientos químicos (coagulación, floculación y precipitación; adsorción; intercambio iónico; desinfección química) y (iii) Métodos físicos de remoción (sedimentación o clarificación; filtración con membranas; filtros cerámicos; filtros con medio granular o arena; aireación) (Sobsey, 2008 y Peter-Varbanets *et al.*, 2009 citados por Pérez-Vidal *et al.*, 2016).

Con respecto al empleo de filtros con medio granular o arena, se han reportado estudios a nivel internacional que han evaluado la eficiencia de filtros con medio granular o arena, entre los cuales se encuentran los filtros de zeolita. En México se evaluó un filtro de zeolita clinoptilolita (zeolita natural), el cual se empaquetó en tres capas (arena sílica, zeolita activada con plata coloidal y arena sílica) y permitió eliminar microorganismos en número y tipo que se clasifiquen según las normas (Hernández, 2010).

En Ecuador, se estudió un filtro de zeolita con cuatro capas: grava de soporte, arena de 1mm de diámetro, zeolita de 3 mm de diámetro y arena de 0,30 mm de diámetro; que permitió remover el color de 12 UC a 10 UC, la turbidez se mantuvo en 1 UNT, el pH disminuyó de 7,00 a 6,80 unidades, los nitritos variaron de 0,176 mg/L a 0,048 mg/L, los fosfatos se redujeron de 0,580 mg/L a 0,060 mg/L y los coliformes fecales y totales resultaron incontables, por lo cual requirió la desinfección por cloración (Larrea, 2015).

También se reportó en Ecuador, un sistema a escala de laboratorio; estructurado por filtrado en arenas + gravas, seguido de filtración con las zeolitas clinoptilolita y mordenita y finalmente se realizó el proceso de cloración. Los resultados indicaron que en la etapa de filtración en arenas + gravas, las variables DBO₅; sólidos totales; coliformes fecales y turbiedad, alcanzaron niveles permitidos de acuerdo a las normas establecidas para el agua de consumo humano. El uso de zeolitas del tipo clinoptilolita y/o mordenita como procedimiento para complementar el proceso de filtración, redujo significativamente los niveles de cobre, plomo, hierro, aluminio, cobalto y cromo. El uso del tratamiento con cloro después del filtrado redujo en 87 % la presencia de coliformes fecales reduciendo los valores dentro de los rangos permitidos (Carreño-Mendoza *et al.*, 2018).

En Perú, también se desarrolló una investigación sobre filtros de zeolita natural con materiales locales, con capas de agregados, tales como: 0,20 m de grava de ¾" de diámetro, 0,10 m de gravilla de malla N° 4 y finalmente una capa de 0,30 m de zeolita de malla N° 14, obteniendo un agua libre de coliformes totales y coliformes termotolerantes. Los resultados después del tratamiento del agua con el filtro, arrojaron que la turbidez fluctuó de 0,31 UNT a un rango de valores entre 0,1 UNT y 3,07 UNT; el color inicial fue de 0 UC y se mantuvo durante el tratamiento con el filtro; los coliformes en el afluente presentaron un valor de 84 NMP/100 mL y en el efluente variaron de 70 NMP/100 mL a 22 NMP/100 mL durante la primera semana, de 140 NMP/100 mL a 130 NMP/100 mL en la segunda semana y 9,2 NMP/100 mL a 14 NMP/100 mL en la tercera semana (Yzquierdo, 2018).

Particularmente, en Venezuela se refieren investigaciones con filtros de zeolita y otros medios granulares, tal es el estudio de Liscano *et al.* (2016), quienes desarrollaron cuatro modelos de filtro: zeolita-carbón-zeolita, carbón-zeolita-carbón, zeolita-antracita y zeolita; de los cuales resultó más eficiente el filtro con zeolita, pues los parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez y alcalinidad) se ajustaron a las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998) y la remoción de coliformes fue del 100 % en todas las muestras evaluadas, representando un índice $\leq 2,2$ NMP/100 mL. No obstante, es importante seguir profundizando en investigaciones que alternen la zeolita con otros medios granulares a fin de determinar si mejora su eficiencia.

De allí surge la necesidad de desarrollar un dispositivo para la purificación del agua de consumo humano en el municipio Cabimas, lo cual hace imprescindible elegir alternativas de tratamientos no convencionales de agua que garanticen la obtención de buenos resultados para la salud con la mínima inversión posible, considerando que el consumo de agua tratada, pero con bacterias adquiridas a través de su distribución, seguirá siendo un factor desencadenante de enfermedades; así como las condiciones higiénicas desfavorables producto del almacenamiento inadecuado en tanques. El agua por no estar apta para el consumo, requiere tratamientos complementarios. Con esta investigación se estaría aportando un prototipo que ayudaría a solventar en el corto, mediano y largo plazo la problemática que se presenta respecto a la calidad del agua.

En este orden de ideas, se afirma que los dispositivos para la purificación del agua comprenden una serie de equipos externos e internos para obtener un agua con valores permisibles con respecto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, a fin de que el agua pueda ser consumida sin peligro alguno por los seres humanos.

En concordancia con lo expuesto, el presente trabajo tuvo como objetivo general desarrollar un dispositivo de filtración con medio granular para la purificación del agua destinada al consumo humano.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia (Cabimas, estado Zulia, Venezuela) durante un lapso de tres (3) meses.

Procedimiento de investigación

- Descripción de los requerimientos para el diseño del dispositivo purificador de agua de consumo humano, destacando los materiales, herramientas, instrumentos, dimensiones y rangos empleados.
- Diseño del dispositivo purificador de agua con sus respectivos planos y cálculos

- Construcción del dispositivo purificador de agua donde se destacan los procesos de fabricación, ensamblaje y pintura.
- Pruebas de ensayo, inspección y funcionamiento del dispositivo purificador de agua (medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos).
- Análisis estadístico de medidas descriptivas.

Requerimientos para el diseño de un dispositivo purificador de agua

Para el diseño mecánico de los dispositivos de filtración, se siguieron los procedimientos establecidos por Budynas y Keith (2008). Adicionalmente, se consideró el comportamiento de los medios filtrantes (Weber, 1979). En el cuadro 1 se especifican los requerimientos, características y cantidad de cada material.

Cuadro 1. Requerimientos para el diseño de un dispositivo purificador de agua para el consumo humano

Requerimiento	Características	Cantidad
Arena Sílice	10/30 Micrones	15 cm
Carbón Activado	10/30 Micrones	5 cm
Arena Marrón	12/20 Micrones	10 cm
Zeolita		10 cm
Gravilla	4/10 Micrones	10 cm
Grava	2/4 Micrones	10 cm
Tubería PAVCO	2" Para Aguas Blancas	80 cm
Adaptadores	De Pega a Rosca Macho 2"	2
Tapones	2" Hembras	2
Spud de Tanque	1/2"	2
Tapón (Rejilla)	3/4"	2
Malla	1mm	1/2 m ²
Niples	1/2" x 2"	2
Codos	1/2" x 90°	2
Niples	1/2" x 12cm	4
T	1/2"	3
Llaves de Paso	1/2"	2
Unión Universal	1/2"	1
Niples	1/2" x 17cm	3
Llave de Suministro	1/2"	1
Teflón	3/4	1
Pega Para Tubería		

Diseño y construcción del dispositivo purificador de agua para el consumo humano

Con la utilización de revisión bibliográfica y la aplicación del programa AutoCAD, se procedió al diseño y construcción del dispositivo purificador (tres tipos de dispositivo) de agua para el consumo humano. Se detallaron las diferentes características presentadas, especificando cada uno de sus componentes, así como también el funcionamiento de manera normal y su retrolavado.

Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Para llevar a cabo la determinación de los diferentes parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, color y alcalinidad) de las muestras, fue necesaria la utilización de una serie de materiales y equipos, entre los cuales se encuentran: potenciómetro, turbidímetro, colorímetro y material volumétrico. Para el análisis microbiológico se determinó el Número Más Probable (NMP). Para el análisis fisicoquímico se siguieron los procedimientos establecidos en el Standard Methods (APHA, AWWA, WEF, 2012); y para el análisis microbiológico se aplicó lo referido en la Norma Venezolana COVENIN 3047-93 (1993).

Los ensayos se realizaron por triplicado, para lo cual se tomaron muestras de 2 L cada una: nueve (9) antes del tratamiento, ajustadas a los valores de turbidez inicial y veintisiete (27) muestras después del tratamiento con los dispositivos de purificación de agua, a un caudal constante de 2 L/min y con una frecuencia del muestreo de tres veces por semana.

Preparación de las muestras

Se prepararon aguas sintéticas a partir del agua de grifo, para lo cual se midió la turbiedad inicial de la misma y se ajustó a los valores de turbidez en estudio (30 UNT, 50 UNT y 80 UNT) mediante la adición de caolín a 1000 mg/L.

Análisis estadístico

Se determinaron los parámetros descriptivos siguientes: media, mediana, media geométrica, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y rango. Estos permitieron establecer los promedios, la homogeneidad de los datos y la eficiencia de cada uno de los dispositivos de filtración evaluados.

Resultados de la investigación

Diseño y construcción de un dispositivo purificador de agua para el consumo humano

En el diseño de un dispositivo purificador de agua para el consumo humano se detallan los diferentes componentes de tres tipos de filtro designados (D1) Dispositivo de Purificación de Agua Número 1 (Figura1), (D2) Dispositivo de Purificación de Agua Número 2 (Figura 2) y (D3) Dispositivo de Purificación de Agua Número 3 (Figura 3).

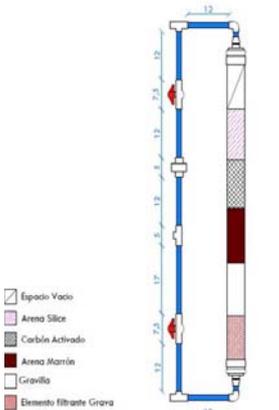


Figura 1. Diseño en AutoCAD del Dispositivo de Purificación de Agua Número 1 (D1)

Fuente: Los autores (2020)

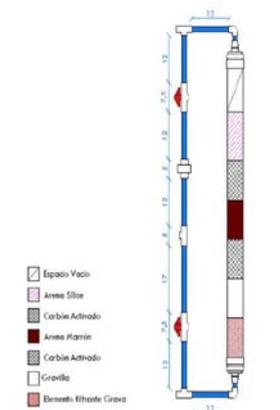


Figura 2. Diseño en AutoCAD del Dispositivo de Purificación de Agua Número 2 (D2)

Fuente: Los autores (2020)

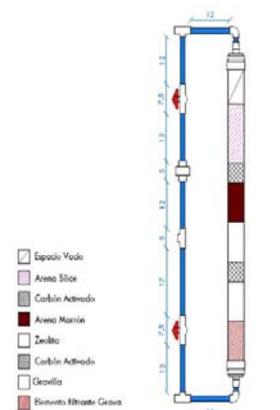


Figura 3. Diseño en AutoCAD del Dispositivo de Purificación de Agua Número 3 (D3)

Fuente: Los autores (2020)

Por medio de la revisión bibliográfica y la ejecución de diferentes actividades se construyó el dispositivo purificador de agua para el consumo humano (tres prototipos), siendo necesario desarrollar los siguientes pasos:

Paso 1: Organización de los requerimientos para la construcción de un dispositivo purificador de agua para el consumo humano: Inicialmente fueron seleccionados los diferentes componentes y herramientas para el desarrollo del equipo.

Paso 2: Para la elaboración de las piezas del filtro, se procedió a cortar el tubo PAVCO de 2" a 90 cm, lijando los bordes para dar un acabado liso. Posteriormente se cortó el tubo PAVCO de 1/2" en seis secciones de 12 cm de largo y una de 17 cm, se le realizó una abertura de 1/2" a los tapones de 2" en las cuales se colocaron las uniones roscadas macho de 1/2". Una vez obtenidas las piezas necesarias, se procedió a unir las preparando la mezcla de pega tanque y se untó en los orificios de los tapones, colocando ajustadamente las uniones roscadas macho en ambos tapones.

Paso 3: Vaciado de elementos filtrantes, se procedió al empaquetado del dispositivo de purificación de agua para el consumo humano, y se utilizó arena sílice, carbón activado, arena marrón, zeolita, carbón activado, gravilla y grava.

Paso 4: Se probó el funcionamiento mecánico del dispositivo de purificación de agua para consumo humano y su calidad conectando a la llave de paso de 1/2" una manguera y haciendo pasar por ésta agua por gravedad, verificando de esta manera el funcionamiento normal y de retrolavado del dispositivo de purificación de agua para el consumo humano (Figura 4).



Figura 4. Construcción del Dispositivo de Purificación de Agua

Fuente: Los autores (2020)

Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en aguas antes y después del tratamiento con el dispositivo de purificación

-Pruebas fisicoquímicas

En la Tabla 1 se muestra la caracterización fisicoquímica de las muestras de agua a una turbidez inicial de 30 UNT antes del tratamiento con los dispositivos de purificación. Los valores promedio para los parámetros fisicoquímicos después del tratamiento con los dispositivos se observan en la Tabla 2.

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua (30 UNT) antes del tratamiento con los dispositivos de purificación

Turbidez (UNT)	Color (UC Pt/Co)	Alcalinidad (mg C_aCO₃/L)	pH
30	80	17,3	7,1

Tabla 2. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua (30 UNT) después del tratamiento con los dispositivos de purificación

Dispositivo	Turbidez (UNT)	% R	Color (UC Pt/Co)	% R	Alcalinidad (mg C ₂ CO ₃ /L)	pH
D1	8,03	73,2	15	81,3	17,3	6,60
D2	7,17	76,1	10	87,5	14,7	6,50
D3	3,17	89,4	10	87,5	14,7	6,60

Para una turbidez inicial de 30 UNT, se observa que el dispositivo 3 arroja el menor valor promedio de turbidez (3,17 UNT), el cual se ubica dentro de los valores permisibles establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998), siendo 5 UNT el valor máximo para la turbidez. Su eficiencia (89,4 % de remoción de turbidez) es mayor con respecto a la de los dispositivos restantes (Tabla 2).

Tabla 3. Medidas descriptivas correspondientes al parámetro turbidez en muestras de agua acondicionadas a 30 UNT y tratadas con tres dispositivos de filtración

To: 30 UNT				
Medidas descriptivas	Dispositivo 1	Dispositivo 2	Dispositivo 3	
Media	8,03 UNT	7,17 UNT	3,17 UNT	
Mediana	8,00 UNT	7,20 UNT	3,20 UNT	
Media geométrica	8,03 UNT	7,17 UNT	3,16 UNT	
Varianza	0,02 UNT ²	0,02 UNT ²	0,06 UNT ²	
Desviación estándar	0,15 UNT	0,15 UNT	0,25 UNT	
Coeficiente de variación	1,90 %	2,13 %	7,95 %	
Rango	0,30 UNT	0,30 UNT	0,50 UNT	

En la tabla 3 se observan los valores de las medidas descriptivas. El rango para los dispositivos 1 y 2 es 0,30 UNT, y para el dispositivo 3 es 0,50 UNT; lo cual evidencia que en los datos del dispositivo 3 la distancia entre el valor mínimo y el máximo es mayor que la de la de los dispositivos 1 y 2, siendo estos últimos los que presentan el menor valor para esta medida.

La desviación estándar, esto es, el promedio de la distancia de los datos con respecto a la media, es 0,15 para el dispositivo 1 y el dispositivo 2; y 0,25 para el dispositivo 3. Esto significa que los datos en los dispositivos 1 y 2 se alejan de la media en 0,15 UNT y para el dispositivo 3 se alejan en 0,25 UNT, lo cual permite concluir que hay una mayor variación en el dispositivo 3.

El coeficiente de variación (CV) también es un buen indicador de variación de los datos con respecto a la media; para el dispositivo 1 es 1,90 %, para el dispositivo 2 es 2,13 % y para el dispositivo 3 es 7,95 %. Los valores que toma el CV son inferiores al 30 %, significa que el conjunto de datos es homogéneo o poco variables para todos los dispositivos.

Por otra parte, al tratar aguas con turbiedad inicial de 30 UNT, las medidas de centralidad como la media, la media geométrica y la mediana presentan valores similares entre sí para cada dispositivo, lo cual refleja poca variación entre los valores de turbidez registrados con los tres dispositivos.

En correspondencia con los resultados descritos, se observa que una vez pasada el agua por los filtros 1, 2 y 3, se origina una disminución importante de los parámetros fisicoquímicos de calidad, entre los cuales se encuentran: turbidez, color, alcalinidad y pH; al mismo tiempo es posible determinar que los elementos filtrantes empleados en el dispositivo 3 son los de mayor efectividad al remover la turbidez en 89,4 % y por tanto, retener los agentes contaminantes del vital líquido, de modo que el agua presente valores promedio de turbidez (3,17 UNT), color (10 UC Pt-Co), pH (6,60) y alcalinidad (14,7 mg C_aCO₃/L) que resultan acordes a los estándares establecidos, lo cual la hace permisible para el consumo humano.

En la Tabla 4 se muestra la caracterización fisicoquímica de las muestras de agua a una turbidez inicial de 50 UNT antes del tratamiento con los dispositivos de purificación. Los valores promedio para los parámetros fisicoquímicos después del tratamiento con los dispositivos se observan en la Tabla 5.

Tabla 4. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua (50 UNT) antes del tratamiento con los dispositivos de purificación

Turbidez (UNT)	Color (UC Pt/Co)	Alcalinidad (mg C _a CO ₃ /L)	pH
50	80	17,3	7,03

Tabla 5. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua (50 UNT) después del tratamiento con los dispositivos de purificación

Dispositivo	Turbidez (UNT)	% R	Color (UC Pt/Co)	% R	Alcalinidad (mg C _a CO ₃ /L)	pH
D1	6,07	87,9	15	81,2	15,3	6,77
D2	3,47	93,1	10	87,5	18,7	6,70
D3	1,80	96,4	5	93,7	16,7	7,43

Para una turbidez inicial de 50 UNT, se observa que el dispositivo 3 arroja el menor valor promedio de turbidez (1,80 UNT), el cual se ajusta a los límites permisibles establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial

de Venezuela, 1998), siendo 5 UNT el valor máximo para la turbidez. El dispositivo 3 presenta el menor valor de turbidez, su eficiencia es mayor que en los otros dispositivos (Tabla 5).

Tabla 6. Medidas descriptivas correspondientes al parámetro turbidez en muestras de agua acondicionadas a 50 UNT y tratadas con tres dispositivos de filtración.

To: 50 UNT			
Medidas descriptivas	Dispositivo 1	Dispositivo 2	Dispositivo 3
Media	6,07 UNT	3,47 UNT	1,80 UNT
Mediana	6,10 UNT	3,40 UNT	1,70 UNT
Media geométrica	6,07 UNT	3,37 UNT	1,79 UNT
Varianza	0,02 UNT ²	1,00 UNT ²	0,07 UNT ²
Desviación estándar	0,15 UNT	1,00 UNT	0,26 UNT
Coeficiente de variación	2,52 %	28,89 %	14,70 %
Rango	0,30 UNT	2,00 UNT	0,50 UNT

De acuerdo a lo especificado en la tabla 6 con respecto a las medidas descriptivas, se observa lo que a continuación se indica. El rango para el dispositivo 1 es 0,30 UNT, para el dispositivo 2 es 2,00 UNT y para el dispositivo 3 es 0,50 UNT; lo cual evidencia que en los datos del dispositivo 2, la distancia entre el valor mínimo y el máximo es mucho mayor que la de los dispositivos 1 y 3, siendo el dispositivo 2 el que presenta el mayor valor para esta medida.

La desviación estándar es 0,15 para el dispositivo 1, registra un valor de 1,00 para el dispositivo 2 y 0,26 para el dispositivo 3. Esto significa que los datos en el dispositivo 1 se alejan de la media en 0,15 UNT, para el dispositivo 2 se alejan en 1,00 UNT y para el dispositivo 3 se alejan en 0,26 UNT, lo cual permite concluir que hay una mayor variación en el dispositivo 2.

El coeficiente de variación (CV) como buen indicador de variación de los datos con respecto a la media, permite establecer lo siguiente: para el dispositivo 1 es 2,52 %, para el dispositivo 2 es 28,89 % y para el dispositivo 3 es 14,70 %. Todos los valores correspondientes al coeficiente de variación son inferiores a 30 %, lo cual significa que el conjunto de datos es homogéneo o poco variable para todos los dispositivos.

Por otra parte, al tratar aguas con turbidez inicial de 50 UNT, las medidas de centralidad como la media, la media geométrica y la mediana presentan valores similares entre sí para los tres dispositivos, lo cual refleja poca variación entre los valores de turbidez.

En concordancia con los resultados expuestos, se evidencia que una vez filtrada el agua con los dispositivos 1, 2 y 3, se origina una disminución importante de los valores referidos a los parámetros turbidez y color; y además, los parámetros alcalinidad y pH se mantienen dentro de los estándares establecidos. Así mismo, es posible determinar que los elementos filtrantes empleados en los dispositivos 2 y 3 son los de mayor efectividad al remover la turbidez en 93,1 % y 96,4 %, respectivamente; reflejando mayor efectividad en la remoción de turbidez y color el dispositivo 3. Por tanto, se deduce que este último puede retener con mayor eficiencia los agentes contaminantes del agua, de modo que la misma presente valores promedio de turbidez (1,80 UNT), color (5 UC Pt-Co), pH (7,43) y alcalinidad (16,7 mg C_aCO₃/L), de manera que cumplen los estándares establecidos, resultando apta para el consumo humano.

En la Tabla 7 se muestra la caracterización fisicoquímica de las muestras de agua a una turbidez inicial de 80 UNT antes del tratamiento con los dispositivos de purificación. Los valores promedio para los parámetros fisicoquímicos después del tratamiento con los dispositivos se observan en la Tabla 8.

Tabla 7. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua (80 UNT) antes del tratamiento con los dispositivos de purificación

Turbidez (UNT)	Color (UC Pt/Co)	Alcalinidad (mg C _a CO ₃ /L)	pH
80	100	19,3	6,90

Tabla 8. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua (80 UNT) después del tratamiento con los dispositivos de purificación

Dispositivo	Turbidez (UNT)	% R	Color (UC Pt/Co)	% R	Alcalinidad (mg C _a CO ₃ /L)	pH
D1	12,27	84,6	15	85	17,3	6,73
D2	10,03	87,4	15	85	16,0	6,63
D3	6,53	91,8	10	90	18,0	6,90

Para una turbidez inicial de 80 UNT, se observa que el dispositivo 3 arroja el menor valor promedio de turbidez (6,53 UNT), el cual no se ajusta a los valores permisibles establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998), pues es superior a 5 UNT (valor máximo para la turbidez), pero presenta la mayor eficiencia (91,8 % de remoción de turbidez) (Tabla 8).

Tabla 9. Medidas descriptivas correspondientes al parámetro turbidez en muestras de agua acondicionadas a 80 UNT y tratadas con tres dispositivos de filtración

To: 80 UNT			
Medidas descriptivas	Dispositivo 1	Dispositivo 2	Dispositivo 3
Media	12,27 UNT	10,03 UNT	6,53 UNT
Mediana	12,10 UNT	10,10 UNT	6,30 UNT
Media geométrica	12,25 UNT	10,03 UNT	6,47 UNT
Varianza	0,58 UNT ²	0,04 UNT ²	1,36 UNT ²
Desviación estándar	0,76 UNT	0,21 UNT	1,17 UNT
Coeficiente de variación	6,23 %	2,07 %	17,87 %
Rango	1,50 UNT	0,40 UNT	2,30 UNT

Tal y como se indica en la tabla 9, las medidas descriptivas presentan los valores que a continuación se interpretan. El rango para el dispositivo 1 es 1,50 UNT, refleja un valor de 0,40 UNT para el dispositivo 2 y de 2,30 UNT para el dispositivo 3; lo cual evidencia que en los datos del dispositivo 3, la distancia entre el valor mínimo y el máximo es mayor que en los dispositivos 1 y 2, siendo estos últimos los que presentan el menor valor para esta medida.

La desviación estándar es 0,76 para el dispositivo 1, muestra un valor de 0,21 para el dispositivo 2 y 1,17 para el dispositivo 3. Esto significa que los datos en el dispositivo 1 se alejan de la media en 0,76 UNT, para el dispositivo 2 se alejan en 0,21 UNT y en el dispositivo 3 se alejan en una proporción de 1,17 UNT; lo cual permite concluir que hay una mayor variación en el dispositivo 3.

El coeficiente de variación (CV) también es un buen indicador de variación de los datos con respecto a la media; para el dispositivo 1 es 6,23 %, para el dispositivo 2 es 2,07 % y para el dispositivo 3 es 17,87 %. Los valores que toma el CV son inferiores al 30 %, significa que el conjunto de datos es homogéneo o poco variable para todos los dispositivos.

Por otra parte, las medidas de centralidad como la media, la media geométrica y la mediana presentan valores similares entre sí para cada dispositivo, lo cual refleja poca variación entre los valores de turbidez registrados con los tres dispositivos al utilizarlos para tratar agua con turbidez inicial de 80 UNT.

Los resultados presentados demuestran que una vez filtrada el agua con los dispositivos 1, 2 y 3, disminuyen considerablemente los valores correspondientes a los parámetros fisicoquímicos turbidez y color; además, la alcalinidad y el pH se mantienen dentro de los estándares establecidos. Así mismo, es posible determinar que los elementos filtrantes empleados en los dispositivos 2 y 3 son los de mayor efectividad al

remover la turbidez en 87,4 % y 91,8 %, respectivamente; pero el dispositivo 3 es el más eficiente en la remoción de turbidez y color. En síntesis, se infiere que el dispositivo 3 puede retener con mayor eficiencia los agentes contaminantes del agua, de modo que la misma queda caracterizada fisicoquímicamente de la siguiente manera: turbidez (6,58 UNT), color (10 UC Pt-Co), pH (6,90) y alcalinidad (18,0 mg CaCO₃/L), acordes en su mayoría a los estándares establecidos, exceptuando la turbidez, dado que supera el valor permisible (máximo 5 UNT), según la Gaceta Oficial de Venezuela (1998), resultando no apta para el consumo humano.

-Prueba microbiológica del Número Más Probable (NMP)

Después de aplicar la prueba presuntiva y la prueba confirmatoria, tal y como se establece en la Norma Venezolana COVENIN 3047-93 (1993), para la determinación del Número Más Probable (NMP), se muestra el Índice de NMP para muestras de agua filtradas con el Dispositivo 3 (Tabla 10). Cabe destacar que antes de filtrar las muestras de agua con el Dispositivo 3, correspondientes a los tres valores de turbidez en estudio (30 UNT, 50 UNT y 80 UNT) se determinó un valor ≥ 16 NMP/100mL. A través de los ensayos microbiológicos fue posible determinar la mayor eficiencia al filtrar muestras de agua con el Dispositivo 3 a una turbidez de 50 UNT. Antes de filtrar, los 5 tubos inoculados con el agua presentaron un NMP $\geq 16,0$, pues en el 100 % de los tubos se observó gas y turbidez, evidenciando la presencia de coliformes; mientras que, después de filtrar con el Dispositivo 3, se detectó que 2 de los 5 tubos resultaron negativos a la presencia de coliformes, obteniéndose 5,1 NMP/100 mL.

Tabla 10. Índice del Número Más Probable (NMP) para aguas filtradas con el Dispositivo 3

Parámetro	Referencia	Agua acondicionada a 30 UNT		Agua acondicionada a 50 UNT		Agua acondicionada a 80 UNT	
		Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%
Coliformes totales (NPM/100mL)	$\geq 16,0$	5	100				
	5,1			2	40		
	16					4	80

Discusión de resultados

Los tres dispositivos de filtración redujeron la turbidez y el color en aguas a 30 UNT, 50 UNT y 80 UNT. Los tres dispositivos resultaron altamente eficientes en la remoción de color para los valores de turbidez evaluados, permitiendo obtener valores de color en el efluente acordes a lo estandarizado en las Normas de Calidad de Agua Potable (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998). El dispositivo 3 resultó altamente eficiente para la remoción de turbidez y color en aguas con turbiedades iniciales de 30 UNT y 50 UNT, ajustándose a los valores permisibles establecidos a nivel nacional para la turbidez (máximo 5 UNT), el color (máximo 15 UC Pt/Co) y el pH (6,5-8,5) (Gaceta

Oficial de Venezuela, 1998); así como valores de alcalinidad inferiores al máximo valor permisible establecido en la normativa colombiana: 250 mg C_aCO_3/L (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2007).

Las eficiencias promedio en la remoción de turbidez obtenidas con el dispositivo 3 corresponden a 89,4 %, 96,4 % y 91,8 % para turbiedades iniciales de 30 UNT, 50 UNT y 80 UNT, respectivamente; lo cual muestra que fue más eficiente en la remoción de partículas en suspensión que el dispositivo 1, cuyas eficiencias promedio fueron de 73,2 % (30 UNT), 87,9 % (50 UNT) y 84,6 % (80 UNT); y que el dispositivo 2, con el cual se registraron valores de 76,1 % (30 UNT), 93,1 % (50 UNT) y 87,4 % (80 UNT).

La mayor eficiencia en la remoción de turbidez y color con el dispositivo 3 de filtración puede atribuirse a la presencia de una capa de zeolita, la cual se caracteriza por sus propiedades como adsorbente y filtrante (Márquez *et al.*, 1998).

En cuanto a la calidad del agua tratada con los tres dispositivos de filtración, en función del pH se observa que este parámetro disminuyó ligeramente su valor, excepto cuando se aplicó la filtración con el dispositivo 3 para turbiedades de 50 UNT y 80 UNT, donde en el primer caso aumentó levemente y en el segundo se mantuvo el pH. Con todos los dispositivos y a los valores de turbidez estudiados, se cumplió con lo establecido en la normativa nacional (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

Con respecto al parámetro color, se registraron valores que oscilaron entre 5 UC Pt/Co y 15 UC Pt/Co después del tratamiento, los cuales demuestran la alta eficiencia de los tres dispositivos de filtración en la remoción del color, dado que este parámetro inicialmente se ubicó en 80 UC Pt/Co para turbiedades iniciales de 30 UNT y 50 UNT; y en 100 UC Pt/Co para una turbidez inicial de 80 UNT. La eficiencia de estos dispositivos fue mayor (85,4 % - 87,5 %) que la de otros dispositivos con zeolita reportados en la literatura, como el referido por Larrea (2015), quien obtuvo 16,7 % de remoción para el color, aun cuando los valores se ajustaron a la normativa establecida; y los evaluados por Liscano y López (2017), quienes para el filtro más eficiente (solo zeolita) alcanzaron remociones de color en un promedio inferior (68,2 %) al del presente estudio y no lograron que el parámetro color se ajustara a la normativa establecida.

En relación al parámetro alcalinidad, esta se ubicó en un valor promedio de 18,0 mg C_aCO_3/L y varió ligeramente después del tratamiento con los dispositivos de filtración hasta un valor permisible correspondiente a 16,5 mg C_aCO_3/L , tal y como refiere el Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007) que establece un valor máximo de 200 mg C_aCO_3/L .

La prueba microbiológica del NMP permitió determinar que los tres dispositivos filtrantes evaluados no lograron la remoción de coliformes totales, tal y como lo establece la normativa vigente (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998). No obstante, con el Dispositivo 3 a una turbidez inicial de 50 UNT se logró remover el 60 % de coliformes totales y a una turbidez de 80 UNT se obtuvo una remoción del 20 %. De manera similar al estudio presente, Yzquierdo (2018) logró remover los coliformes totales al aplicar un

filtro de zeolita con otros agregados, pero sin ajustarse a los valores permisibles. No obstante, el Dispositivo 3 evaluado resultó más eficiente que el reportado por Larrea (2015), quien detectó coliformes fecales y totales incontables al emplear un dispositivo de filtración de cuatro capas. Igualmente, Carreño-Mendoza *et al.* (2018) no lograron obtener valores permisibles para los coliformes totales y tuvieron que adicionar cloro para ajustarse a los rangos establecidos.

Estos resultados difieren de los reportados por Liscano y López (2017) al emplear un dispositivo filtrante con zeolita, con el cual lograron la remoción de coliformes en el 100 % de las muestras evaluadas, representando un índice $\leq 2,2$ NMP/100 mL. Del mismo modo, los dispositivos estudiados resultaron ineficientes al compararlos con un filtro de zeolita clinoptilolita (Hernández, 2010), con el cual se eliminaron los microorganismos, tal y como lo indican las normativas.

Dado que los dispositivos evaluados en esta investigación son muy eficientes en la remoción de color y turbidez, se requeriría adicionar algún componente que tenga propiedades bactericidas como la plata coloidal (Pérez-Vidal *et al.*, 2016) a fin de remover los coliformes totales y cumplir con la normativa de calidad del agua.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el estudio permiten concluir que los tres dispositivos de filtración con medio granular evaluados son altamente eficientes en la remoción de color (85,4 % - 87,5 %) cuando se tratan aguas con turbiedades en un rango de 30 UNT a 80 UNT. Asimismo, resultan eficientes para la remoción de turbidez (D1: 81,9 %; D2: 85,5 %; D3: 92,5 %), pero la composición del Dispositivo 3 es la de mayor efectividad en cuanto a los parámetros fisicoquímicos (turbidez: 3,83 UNT; color: 8,33 UC Pt/Co; pH:6,98; alcalinidad: 16,5 mg C_aCO_3/L), porque se obtienen valores permisibles para todas las variables al promediar los valores correspondientes a las tres turbiedades iniciales (30 UNT, 50 UNT y 80 UNT) estudiadas. La eficiencia en la remoción de coliformes totales es mayor en el dispositivo 3 a 50 UNT y su índice es $\leq 5,1$ NMP/100 mL que no se ajusta a la normativa establecida.

Referencias bibliográficas

- APHA, AWWA, WEF (2012). Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association. p.p. 1360.
- Budynas R. y Keith J. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México.: McGraw Hill. p.p. 1062.
- Carreño-Mendoza A., Lucas-Vidal L., Hurtado E., Barrios-Maestre R. y Silva-Acuña R. (2018). Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la Microcuenca del río Carrizal, Ecuador. Revista Ciencia UNEMI

11(28), 76-87. (Documento en línea). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp76-87p> (Consulta: 2020, enero 8).

Gabaldón, A. (2013). El desafío del desarrollo sustentable en América Latina. En compilación Estrategias para alcanzar el desarrollo sustentable de un país de economía rentista: Venezuela – Rio de Janeiro: Konrad-Adenauer-Stiftung, 2013. “SOPLA – Programa Regional sobre Políticas Sociales”. (Documento en línea). Disponible en: https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=302fab42-4aec-6654-871c-bce1579b44fe&groupId=252038 (Consulta: 2020, enero 10).

Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1998). Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. N° 36.395 del 13 de febrero. Caracas, Venezuela. <http://www.safeintl.com/descargas/NORMAS-SANITARIAS-DE-CALIDAD-DEL-AGUA-POTABLE.pdf>

Hernández K. (2010). Desinfección de agua mediante un filtro base de zeolita (clinoptilolita). Tesis para obtener el Título de Ingeniero Químico. Especialidad en Tecnología de Alimentos. Hermosillo, México. (Documento en línea). Disponible en: <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/handle/unison/919/hernandezmatakaramiriaml.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulta: 2020, enero 6).

Larrea C. (2015). Aplicación de un filtro de zeolita para potabilización del agua nivel domiciliario sitio Palestina Cantón El Guabo Provincia El Oro. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador. p.p. 40 (Documento en línea). Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3120/1/TESIS%20-%20JONATHAN%20LARREA.pdf> (Consulta: 2020, enero 6).

Liscano D., López D., González Y., Fuentes L. y Mendoza I. (2016). Purificador de agua con zeolita en aguas para consumo humano. VI Jornadas del LIANCOL y II Congreso de Ciencias Ambientales. Universidad del Zulia. Núcleo Costa Oriental del Lago. Cabimas, Venezuela. <https://docplayer.es/151931535-Memorias-arbitradas-vi-jornadas-del-liancol-y-ii-congreso-de-ciencias-ambientales.html>

Liscano D. y López D. (2017). Evaluación de la efectividad de un purificador de agua utilizando zeolita como medio filtrante. Trabajo Especial de Grado presentado ante la Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago.

Márquez E., Márquez J., Tito J., Herrera T. y Mondelo A. (1998). Determinación de los parámetros hidráulicos de la zeolita natural como medio filtrante. Tecnología del Agua. 172, 46-50. (Documento en línea). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=81992> (Consulta: 2020, enero 6).

Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007). Resolución Numero 2115. (Documento en línea). Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/images/>

GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf
(Consulta: 2020, enero 10).

Neira M. y Bos R. (2006). Agua y salud: una relación crucial. Vanguardia. Dossier. Agua. El desafío del siglo XXI. N° 21. Octubre-diciembre.

Norma Venezolana COVENIN 3047 - 93. Agua Potable. Método de Determinación del Numero Más Probable de Bacterias Coliformes. Caracas – Venezuela. <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/3047-93.pdf>

ONU (2014). Decenio Internacional para la acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. (Documento en línea). Disponible en: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_cities.shtml (Consulta: 2020, enero 27).

Pérez-Vidal A., Díaz-Gómez J., Salamanca-Rojas K. y Rojas-Torres L. (2016). Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. Rev. Salud pública 18 (2), 275-289 (Documento en línea). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v18n2/v18n2a11.pdf> (Consulta: 2020, enero 3).

Vanguardia. Dossier (2006). Agua. El desafío del siglo XXI. N° 21. Octubre-diciembre.

Vargas L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (Documento en línea). Disponible en: https://www.guzlop-editoras.com/web_des/ciennat/agua/pld1180.pdf (Consulta: 2019, noviembre 8).

Weber W. (1979). Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos. Barcelona: Reverté. p.p. 654.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO) (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. (Documento en línea). Disponible en: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf> (Consulta: 2020, enero 27).

Yzquierdo E. (2018). Incorporación de filtros de zeolita en la calidad del agua en las captaciones del sistema de agua potable del barrio Serafinpampa. Tesis para optar el Título profesional de: Ingeniero Civil. Universidad Privada del Norte. Cajamarca. Perú. (Documento en línea). Disponible en: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14791> (Consulta: 2020, enero 10).