

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL CORREGIMIENTO CUATRO BOCAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN, CESAR

EVALUATION OF THE RISK INDEX OF THE QUALITY OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION IN THE CUATRO BOCAS TOWNHOUSE OF THE MUNICIPALITY OF SAN MARTÍN, CESAR

Nayibe Tatiana Sánchez - Álvarez

Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica. Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Grupo de Investigación GE&TES. Semillero SAPMA; Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UDR Aguachica, Grupo de Investigación TECNOSALUD.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8517-8331>

Email. nayibe.sanchez@unad.edu.co

Kelly Jhoana Rodelo-Soto

Docente Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica. Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0870-7153>

Email. kjrodelo@unicesar.edu.co

Ingris Yohana Hernández-Martínez

Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UDR, Aguachica. Semillero de Investigación SINPROP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5059-2356>

Email. ingris.hernandez@unad.edu.co

Maria Katherine Covilla-Pedrozo

Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UDR Aguachica, Grupo de Investigación TECNOSALUD. Semillero SINVESACA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3401-6401>

Email. maria.covilla@unad.edu.co

Anggie Lizeth Blanco-Porto

Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Seccional Aguachica. Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Semillero SAPMA

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6986-2940>

Email. alizethblanco@unicesar.edu.co

RESUMEN.

El recurso hídrico es fundamental para la vida de los seres vivos e indispensable en el desarrollo de mayoría de las actividades diarias, pero esto no hace ajena a la contaminación. Las principales fuentes de contaminación están relacionadas con las actividades industriales, por acciones del hombre, generando un impacto negativo en la calidad del agua y aumentando la posibilidad del contagio de enfermedades transmitidas por el agua. El objetivo de esta investigación es evaluar la calidad del agua para consumo humano extraída de pozo subterráneo en el corregimiento de Cuatro Bocas en el municipio de San Martín, Cesar. Para esto, se recolectaron dos muestras por estación climatológica en dos puntos de muestreos. Las muestras reunidas permitieron efectuar una caracterización física, química y microbiológica pertinentes y así, realizar el cálculo del índice del riesgo de la calidad del agua para consumo humano evaluando un total de catorce parámetros. Los resultados del análisis de laboratorio evidencian el riesgo de la calidad del agua para consumo humano en la época de lluvia en promedio de 58,45% catalogándola con un riesgo alto, así mismo, para la época de sequía fue un promedio de 42,26% clasificándola con un riesgo “alto” según lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007. Una vez identificadas las características que no cumplen los estándares de calidad, se procedió a identificar el sistema de tratamiento a implementar para reducir el contaminante de mayor preocupación. Para eso, se contemplan las diversas tecnologías para la potabilización del agua existentes en la Resolución 0330 de 2017, siendo esta por aspectos económicos los filtros lentos de arena.

Palabras Clave.

Calidad; Índice de Riesgo; Microbiológicos; Tratamiento; recurso hídrico; parámetros de calidad.

ABSTRACT.

The present investigation proposes the evaluation of the quality of water for human consumption extracted from an underground well in the district of Cuatro Bocas in the municipality of San Martín, Cesar. For this, two samples were collected per climatological station at two sampling points. The collected samples made it possible to carry out a relevant physical, chemical and microbiological characterization and thus calculate the risk index of the quality of water for human consumption, evaluating a total of fourteen (14) parameters. The results of the laboratory analysis show the risk of the quality of water for human consumption in the rainy season was an average of 58.45%, classifying it as having a high risk; likewise, for the dry season

it was an average of 42. 26% classifying it as having a “high” risk as stipulated in Resolution 2115 of 2007. Once the characteristics that do not meet the quality standards have been identified, the treatment system to be implemented is identified to reduce the contaminant of greatest concern. For this, the various technologies for water purification existing in Resolution 0330 of 2017 are contemplated, this being slow sand filters for economic aspects.

Keywords.

Quality; Risk Index; Microbiological; Treatment; water resource; quality parameters.

INTRODUCCIÓN.

El recurso hídrico es fundamental para la vida de los seres vivos e indispensable en el desarrollo de mayoría de las actividades diarias, pero esto no hace ajena a la contaminación. Según Villamizar (2020): “las principales fuentes de contaminación están relacionadas con las actividades industriales o por acciones del hombre, por consiguiente, esto genera un impacto negativo en la calidad del agua y así mismo aumenta la posibilidad del contagio de enfermedades transmitidas por el agua”.

Teniendo en cuenta que las enfermedades vehiculizadas por el agua, se ha priorizado como un evento de interés en salud pública, dado a que la mayoría de estas enfermedades está relacionado con el consumo de agua sin tratar, del estado de los sistemas de suministro de este, variaciones en la calidad del líquido, la escasez de este o el nulo tratamiento del agua residual y la filtración de este en el acuífero de suministro de agua (Minsalud), se hace necesario el tratamiento del agua para garantizar la eliminación de los posibles contaminantes presentes y reducir las enfermedades asociadas con la ingesta del agua en condiciones no aptas (Villamizar, 2020). Por consiguiente, el objetivo de esta investigación es evaluar la calidad del agua para consumo humano extraída del pozo subterráneo en el corregimiento Cuatro Bocas del municipio de San Martín.

En consecuencia, para la evaluación de la calidad del agua consumida en la comunidad se empleó una metodología de carácter descriptiva, donde se tomaron muestras de agua de dos (2) puntos claves según lo estipulado en la normatividad legal, luego, se determinaron las características físicas, químicas y microbiológicas que presentaban el agua cruda. Una vez obtenidos los resultados se calculó el Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, por último, se recomienda la tecnología de tratamiento a implementar en el sistema de distribución existente.

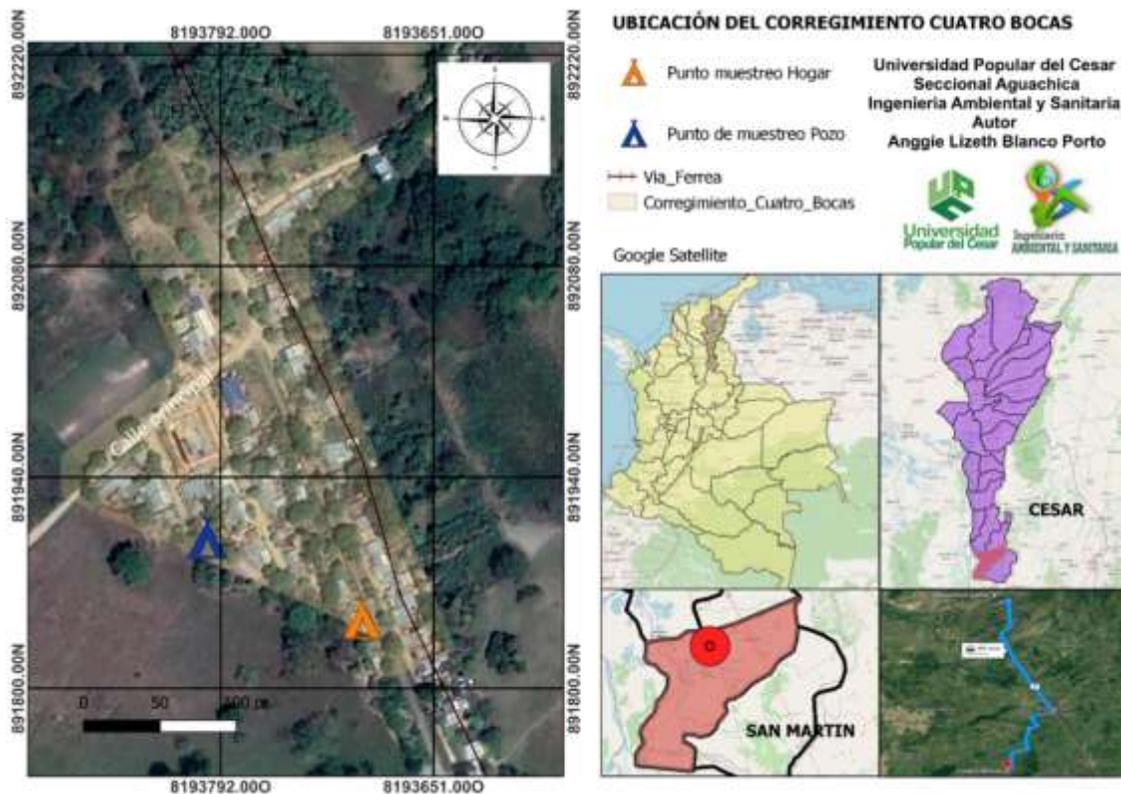
Con esta investigación se pretendió crear conocimiento científico y a su vez, divulgación de información científica con el fin de crear conciencia dentro de la comunidad acerca de los posibles riesgos y las afecciones a las que se exponen con el consumo del líquido sin un tratamiento previo (CTA).

METODOLOGÍA.

La línea de investigación que se implementó fue Saneamiento básico y la sublínea de investigación se enfoca en los mecanismos de producción y conservación del recurso agua. Esta investigación es de tipo descriptiva transversal, la cual es definida por Sampieri (2014) como aquella que se encarga de especificar las características relevantes de los estudios y las características observables y verificables. La población objeto de estudio fue agua del pozo subterráneo del corregimiento de Cuatro Bocas, municipio de San Martín, en el departamento del Cesar.

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento del Cesar, municipio San Martín, Corregimiento Cuatro Bocas, este se encuentra situado geográficamente a los 7°, 59', 14.06" Norte; 73°, 36', 21.26" Oriente; la presente comunidad cuenta con una población aproximada de 403 habitantes (Figura 1).

Figura 1: Ubicación del corregimiento Cuatro Bocas.



Fuente: Autores, 2023.

Para los análisis físicos, químicos y microbiológicos se tomó una muestra representativa de 5 litros del agua del pozo subterráneo del corregimiento Cuatro Bocas los cuales fueron captados en la temporada de sequía y lluvia, respectivamente. Asimismo, el instrumento que se utilizará para recolectar la información es el diario de campo, en el cual se registraron únicamente los datos óptimos para futuras descripciones. Se ejecutó en tres fases: trabajo de campo, trabajo de laboratorio y tratamiento de datos. El pozo subterráneo del corregimiento se encuentra conectado a un tanque de almacenamiento, el cual a su vez reparte el líquido extraído a través de una red de distribución, teniendo en consideración lo anterior, se procede a establecer los puntos de muestreos. Dichos puntos fueron los siguientes: tanque de almacenamiento y la vivienda más alejada al sistema de distribución (Minsalud). Asimismo, el número de análisis a efectuar por punto de muestreo fueron dos (2) y estos se llevaron a cabo en la temporada de sequía y lluvia como se mencionó anteriormente. La medición de parámetros físicos y químicos *in situ* se efectuaron mediante un equipo portátil multiparámetro para el cual, se siguieron los instructivos de operación del equipo y lo establecido en el lineamiento ambiental regulatorio.

Para la toma de muestras de los análisis físicos, químicos y microbiológicos se empezó con la desinfección de los recipientes de almacenamiento del líquido, seguidamente, se drenó el agua estancada dentro de las líneas de distribución y en el caso del tanque de almacenamiento se bombeó alrededor de 3 minutos mínimos para obtener agua del acuífero y evitar alteraciones de la muestra. Los recipientes que se utilizaron para los análisis microbiológicos fueron de vidrio de 250 ml y para análisis físicos y químicos se dispusieron en recipientes plásticos con capacidad de un 1 litro para cada uno de los puntos de muestreos definidos (Minsalud).

Las nomenclaturas implementadas para cada muestra y época respectivamente serán las siguientes: M1SEQ_Pozo: Muestra 1 tomada en la temporada de sequía en el pozo subterráneo. M1SEQ_Hogar: Muestra 1 tomada en la temporada de sequía en la vivienda. M2LLU_Pozo: Muestra 2 tomada en la temporada de sequía en el pozo subterráneo. M2LLU_Hogar: Muestra 2 tomada en la temporada de sequía en la vivienda

Una vez recolectada las muestras del agua del pozo subterráneo, se continuó con el proceso cadena de custodia de traslado de estas según lo especificado en el manual de instrucciones del Instituto Nacional de Salud (INS, 2011). Los respectivos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio SIAMA LTDA, ubicado en la ciudad de Bucaramanga – Santander, el cual implementó los métodos analíticos referenciados en la tabla 3.

Una vez obtenidos los resultados de los análisis correspondientes, se inició la fase de tratamiento de datos que consistió en el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano-IRCA.

El cálculo de la evaluación del Índice definido en el Resolución 2115 de 2007; se desarrolló en una hoja de Excel, donde se tomó el rango de valores establecidos para cada parámetro analizado y posteriormente se realizó una suma de estos para así, obtener la clasificación del nivel de riesgo a la salud que representa el agua que es consumida por la comunidad (MAVDT) (Tabla 1).

Tabla 1. Métodos utilizados en los análisis químicos, físicos y microbiológicos.

Característica	Lugar	Método	Expresada como
Color Aparente	Laboratorio	Electrométrico	PUC
Turbiedad	Laboratorio	Nefelometría SM 2130 B	UNT
pH	In situ	SM-2510 B - Electrométrico	
Calcio	Laboratorio	Método tritrimetrico SM 3500 Ca B.	mg Ca L ⁻¹
Fosfatos	Laboratorio	Digestión-ácido ascórbico, SM 4500 P, E	mg P-PO ₄ ³⁻ L ⁻¹
Manganeso	Laboratorio	Filtración - espectrometría de adsorción atómica SM 3030 K, 23nd edition 2017 – epa 200.8	mg Mn L ⁻¹
Magnesio	Laboratorio	Método tritrimetrico SM 3500 Mg B.	mg Mg L ⁻¹
Dureza Total	Laboratorio	Volumétrico con EDTA, SM 2340 C	mg CaCO ₃ L ⁻¹
Sulfatos	Laboratorio	Turbidímetro SM 4500-SO ₄ ²⁻ E	mg SO ₄ L ⁻¹
Hierro Total	Laboratorio	Filtración – espectrometría de adsorción atómica SM 3030 K, 23nd edition 2017 – epa 200.8	mg Fe L ⁻¹
Nitratos	Laboratorio	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, J. Rodier, 9a Ed, 2009	mg NO ₃ – N L ⁻¹
Nitritos	Laboratorio	Espectrometría, SM 4500-NO ₂ -B	mg NO ₂ – N L ⁻¹
Coliformes Totales	Laboratorio	Fermentación en tubos múltiples con sustratos enzimático para coliformes S.M 9222 J	UFC/100 ml
<i>Escherichia Coli</i>	Laboratorio	Prueba de sustrato enzimático para coliformes. SM 9222 J	UFC/100 ml

Fuente: Servicios integrados para la industria del agro, minero – energético y el medio ambiente, SIAMA S.A.S.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS.

1.1. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Los resultados del análisis de las variables físicas, químicas y microbiológicas en las muestras del agua del pozo subterráneo del corregimiento Cuatro Bocas, recolectadas en las temporadas de sequía y lluvia respectivamente se presentan a continuación.

1.1.1. Parámetros Físicos

La Tabla 2 expone los resultados de los parámetros físicos obtenidos luego del análisis de laboratorio de este para las épocas de lluvia y sequia respectivamente.

Tabla 2: Resultados Físicos y Químicos de las muestras analizadas en las temporadas de sequía y de lluvia en los puntos de recolección. Siendo "M1" el numero de la muestra, "SEQ" la temporada en la que se tomó la misma y "pozo" la ubicación del punto de muestreo.

Característica	Resultado M1SEQ_Pozo	Resultado M1SEQ_Hogar	Resultado M2LLU_Pozo	Resultado M2LLU_Hogar	Valor Máximo Aceptable por Resolución
Color Aparente (UPC)	0	0	0	0	15
Turbiedad (UNT)	0	0	0,2	0,2	2
pH	5,9	5,9	5,9	5,9	6,5 - 9,0

Fuente: Autores, 2023.

Según lo establecido en la Resolución 2115 de 2007, indica que el potencial de hidrogeno debe estar comprendido entre 6,5 y 9,0, para que dicho liquido sea apto para el consumo humano. Pero, una variación en el mismo puede interferir en la calidad del este (Minsalud). El resultado obtenido en el análisis se encuentra por debajo lo estipulado en la normativa siendo este de 5,9, lo cual, representa un agua de carácter ligeramente acida. Pero, este valor no es alarmante en las aguas

subterráneas, dado que, el valor del pH de las aguas crudas presentes en los acuíferos fluctúa entre 5,8 y 8. Esto se debe a que las aguas ácidas son poderosos agentes de descomposición química (IGN). Aunque, las instalaciones del acueducto se pueden ver afectadas por la corrosión si la tubería está creada de algún metal (IDEAM).

Por otro lado, los valores más bajos de turbiedad obtenidos se dieron en la época de sequía, sin embargo, las dos estaciones se mantuvieron en valores similares. Es preciso recordar que las aguas subterráneas no presentan turbidez en la mayoría de los casos debido a su procedencia filtrante. Es importante resaltar que el valor obtenido en el análisis (0,2 UNT) no representan un riesgo para la salud del consumidor final ya que, el valor máximo permitido es de 2 UNT.

Ahora bien, para el parámetro de color, se obtiene un resultado de 0 PUC para cada una de las muestras, evidenciando que este parámetro no representa un riesgo para la comunidad. Puede agregarse que, el color natural del agua se debe principalmente al efecto de las partículas coloidales presentes en el agua y el color aparente es aquel que incluye no solo las partículas coloidales si no el material en suspensión presente en la muestra (Galván et al, 2020).

1.1.2. Parámetros Químicos

La tabla 3 presenta los resultados de los parámetros químicos con mayor relevancia obtenidos luego del análisis de laboratorio de este para las temporadas de lluvia y sequía respectivamente.

Tabla 3: Resultados Químicos de las muestras analizadas.

Característica	Resultado M1SEQ_Pozo	Resultado M1SEQ_Hogar	Resultado M2LLU_Pozo	Resultado M2LLU_Hogar	Valor Máximo Aceptable
Calcio (mg Ca L ⁻¹)	21,3	21,8	29,5	30	60
Fosfatos (mg P-PO ₄ ³⁻ L ⁻¹)	0,11	0,11	0,09	0,09	0,5
Manganeso (mg Mn L ⁻¹)	0,004	0,003	0,003	0,003	0,1
Magnesio (mg Mg L ⁻¹)	5,4	5	3,5	2,4	36
Dureza Total (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	75,4	75	83,9	77,2	300
Sulfatos (mg SO ₄ L ⁻¹)	5	5	5	5	250
Hierro Total (mg Fe L ⁻¹)	0,09	0,09	0,165	0,135	0,3
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ – N L ⁻¹)	1,78	0,66	2,03	3,62	10
Nitritos (mg NO ₂ ⁻ – N L ⁻¹)	0,005	0,005	0,016	0,04	0,1

Fuente: Autores, 2023.

Según la normatividad legal vigente, la concentración de calcio máxima permisible es de 60 mg/L; teniendo un promedio de 25,65 mg/L, este se encuentra por debajo del límite permisible, lo que quiere decir que el consumo de este parámetro no simboliza un riesgo a la salud del consumidor. Por lo general las concentraciones de calcio en las aguas subterráneas varía dependiendo de la composición del suelo ya que este depende de la composición mineral de las rocas del subsuelo (Minsalud).

De la misma manera, en los resultados de la investigación se presentan un valor de dureza promedio de 77,88 mg/L, siendo el valor máximo permisible de 300 mg/L, lo cual indica que se encuentra por debajo del límite establecido. Es importante resaltar que las aguas duras no permiten la formación de espumas además de interferir en procesos industriales y en la reducción del funcionamiento de algunos electrodomésticos, pero, no se han encontrado suficientes datos que la relacionen con la aparición de algunas enfermedades producidas por el consumo de esta (Galván et al, 2020).

Ahora bien, la normatividad colombiana establece que los niveles de Hierro máximos permisibles en el agua para consumo humano son de 0,3 mg/L, para este parámetro se tiene un valor promedio de 0,12 mg/L estando por debajo del límite establecido, por tanto, esta variable no representa riesgos para el usuario. La concentración de este elemento en el agua subterránea está relacionada con los procesos químicos como la oxidación-reducción además de los procesos metabólicos de las plantas y animales (INGEOMINAS).

Por otro lado, según la normatividad vigente el valor máximo permisible para la variable Magnesio es de 39 mg/L, por tanto, haciendo un promedio de los valores determinados se tiene que este se encuentra en 4,08 mg/L, lo cual lo deja por debajo del tope máximo establecido. Dicho parámetro en la mayoría de los casos procede de la disolución de las rocas carbonatadas y por lo general se puede encontrar en menor cantidad que el calcio en las aguas subterráneas.

Del mismo modo el valor máximo permisible para el Manganeseo está establecido en 0,1 mg/L. Tomando como referente los resultados obtenidos después del análisis, se puede evidenciar que estos se encuentran por debajo del límite tolerable, por lo tanto, este parámetro no representa un riesgo para la salud de los habitantes. Es una regla general encontrar el valor de este parámetro menor que el de las concentraciones de hierro. Un aumento en este valor puede generar cambios en el sabor del líquido además de estar relacionadas con enfermedades que afectan el sistema nervioso central.

Para la variable asociada a los nitratos, el Estado colombiano a través de su extensa normatividad en pro de la salud de su pueblo a establecido un valor máximo aceptable de 10 mg/L. ahora bien, como se evidencia en la tabla anterior, este no sobrepasa el límite establecido en ninguno de las épocas de muestreo, por ende, no representa un riesgo su consumo. Por lo general, el valor de este parámetro en las aguas subterráneas aparece solo como trazas siendo este el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas presentes en los acuíferos.

Según la normatividad vigente colombiana el valor máximo aceptable para los nitritos es de 0,1 mg/L, por tanto, observando los valores obtenidos se logra evidenciar que ninguno de los mismo sobre pasa el tope máximo estipulado. Este ion puede estar presente en las aguas subterráneas como el resultado de una disolución de rocas, aunque, no siempre se tiene claro su origen, sin embargo, la contaminación del agua con este parámetro se encuentra relacionada con las actividades agrícolas, industriales o urbanas.

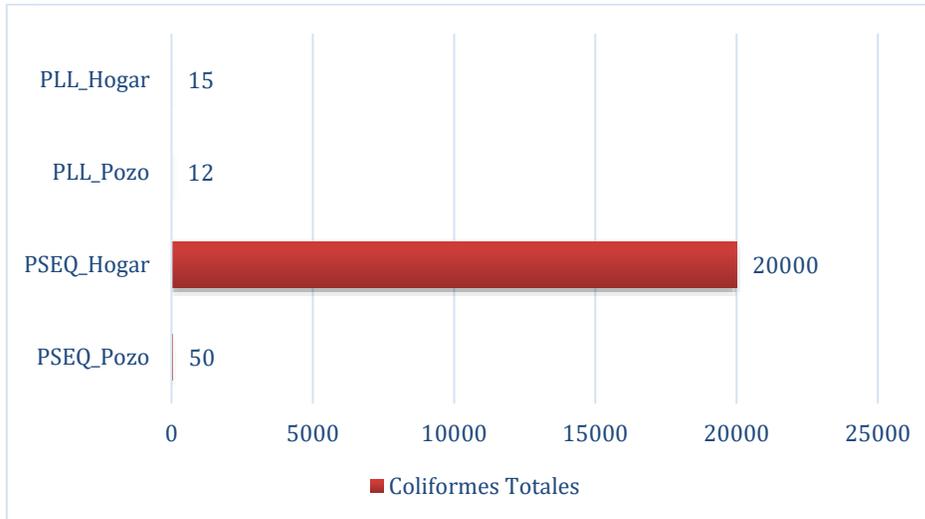
Para el caso de los sulfuros, se evidencia que estos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles para su consumo, siendo el mismo de 250 mg/L. Por otro lado, el valor de este parámetro se comporta de manera constante en cada muestra analizada, el cual lo cataloga como un compuesto que no genera daños en la salud del consumidor. Este parámetro procede de la oxidación de sulfuros presentes en las rocas ígneas y sedimentarias, de la descomposición de sustancias orgánicas, entre otras.

Posteriormente, para la variable asociada a los fosfatos, la normatividad vigente colombiana consagra que el valor máximo aceptable para esta es de 0,5 mg/L, como consecuencia, se evidencia en las muestras tomadas en la época de sequía en ambos puntos de muestreo este valor sobre para el límite aceptable, siendo este de 0,11 mg/L. Dentro de las enfermedades asociadas a la ingesta de este parámetro, diversos estudios observan la relación causa-efecto con el aumento de enfermedades neurodegenerativas y el aumento en los casos de cáncer, además de la osteoporosis y el daño renal Aunque es importante mencionar que el valor de los mismos disminuye en la siguiente época analizada, quedando por debajo del límite establecido en la normatividad legal (Bolaño et al, 2017). Su origen está relacionado con la industria de fertilizantes y a las aguas residuales de origen urbano (detergentes) y a la ganadera.

1.1.3. Parámetros microbiológicos

Coliformes Totales: La figura 2 presenta los resultados de los Coliformes totales obtenidos luego del análisis de laboratorio de este para las épocas de lluvia y sequia respectivamente.

Figura 2: Resultado del conteo total de Coliformes Totales en las muestras.



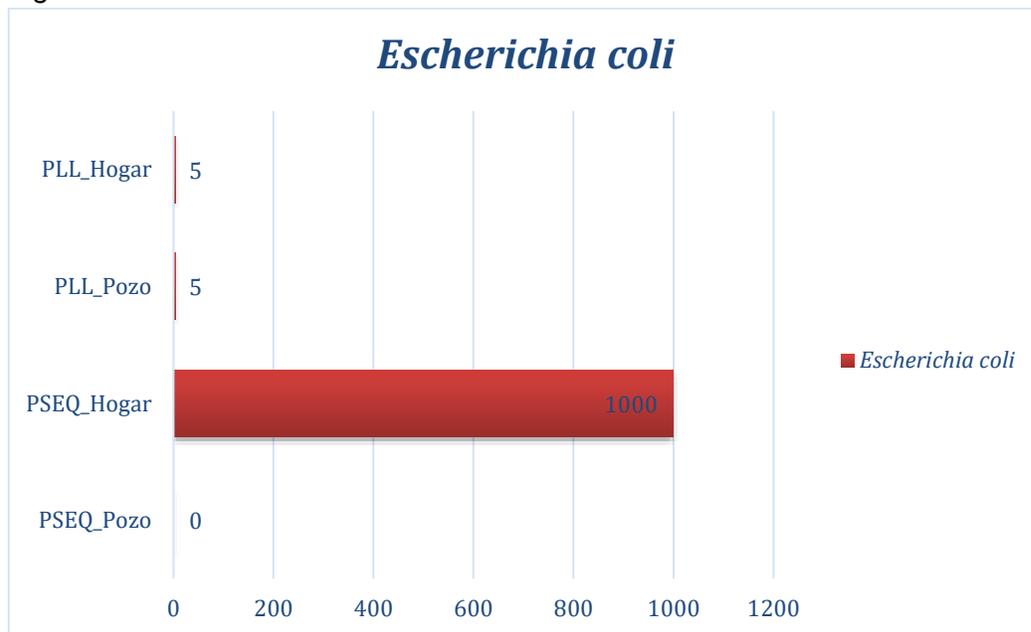
Fuente: Autores, 2023.

El anterior parámetro expone el número de unidades formadoras de colonias presentes en las muestras analizadas, contando con la presencia de 50 UFC en la temporada de sequía en el pozo subterráneo y 20000 UFC en el punto más alejado del sistema de distribución para la misma temporada. Para las muestras analizadas en la temporada de lluvia, en el pozo subterráneo se presenciaron 12 UFC y para el punto más alejado del sistema 15 UFC. Ahora bien, la normatividad colombiana es clara al momento de establecer que el valor máximo aceptable de este será cero (0); como se puede observar, este parámetro supera los límites enmarcados en la normatividad y pone en riesgo a la salud de la población que se abastece de este líquido.

Por otro lado, la identificación de los Coliformes Totales es más compleja ya que, estos pueden originarse del suelo o de una fuente superficial para el caso de las distribuciones superficiales. La presencia de este parámetro sugiere una falla en el sistema de distribución del líquido y un decadente tratamiento (IDEAM).

Escherichia coli: La figura 3 exhibe los resultados de la variable *Escherichia Coli* presentes en las muestras de agua en las épocas de sequía y lluvia sucesivamente.

Figura 3: Resultado del conteo de bacterias *Escherichia coli*.



Fuente: Autores, 2023.

El anterior parámetro expone el número de unidades formadoras de colonias presentes en las muestras analizadas, contando con la presencia de 0 UFC en la temporada de sequía en el pozo subterráneo y 1000 UFC en el punto más alejado del sistema de distribución para la misma temporada. Para las muestras analizadas en la temporada de lluvia, en el pozo subterráneo se presenciaron 5 UFC y para el punto más alejado del sistema 5 UFC en la misma temporada. El estado colombiano establecido como cero (0) el valor máximo aceptable para el consumo de este parámetro; tomando como base lo anterior, por lo tanto, esta variable representa un riesgo para la comunidad.

Aquí es importante mencionar que la presencia de esta bacteria indica una contaminación fecal en el cuerpo de agua, esto dado a que este microorganismo es un habitante del tracto digestivo de los animales de sangre caliente; lo cual significa que este suministro pone en riesgo a toda la comunidad de contraer enfermedades ya mencionadas en capítulos anteriores.

1.2. Asignación de puntos para el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua potable IRCA

Según lo establecido por la Resolución 2115 de 2007, se deben asignar puntos a los parámetros analizados por el no cumplimiento de los valores aceptables presentados en la misma y así, posteriormente calcular el índice de riesgo de la calidad del agua potable en el corregimiento (MAVDT) (Tabla 4).

Tabla 4: Asignación de puntos para cada muestra analizada según Resolución vigente.

Asignación de puntos según Resolución 2115 de 2007.	
Puntaje Total de la Muestra M1SEQ_Pozo	17,5
Puntaje Total de la Muestra M1SEQ_Hogar	42,5
Puntaje Total de la Muestra M1LLUV_Pozo	41,5
Puntaje Total de la Muestra M2LLU_Hogar	41,5

Fuente: Autores, 2023.

Una vez obtenido dichos valores, se continua con el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua potable – IRCA, especificado por el Ministerio.

Para la determinación de este se implementó la ecuación suministrada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social, el cual se encuentra consagrado en la Resolución 2115 de 2007. Para defectos de este proyecto se encuentra consagrada como ecuación (1) y los valores resultantes se plasmaron en la tabla 5.

Tabla 5: Índice de riesgo de la calidad de la calidad del agua potable IRCA (%)

Índice de riesgo de la calidad de la calidad del agua potable IRCA (%)	
IRCA (%) M1SEQ_Pozo	24,65
IRCA (%) M1SEQ_Hogar	59,86
IRCA (%) M1LLUV_Pozo	58,45
IRCA (%) M2LLU_Hogar	58,45

Fuente: Autores, 2023.

Con los valores del IRCA obtenidos, se procedió a la clasificación del nivel de riesgo en la salud según IRCA por muestra y acciones que se deben adelantar con los mismos, los cuales se encuentran fijadas en la normativa legal vigente, por consiguiente, la tabla 6 relaciona la clasificación obtenida por temporada estudiada y las acciones a implementar según lo establecido en el reglamento institucional.

Tabla 6: Clasificación del nivel del riesgo en la salud según el IRCA por muestra.

Clasificación del nivel del riesgo en la salud según el IRCA por muestra			
Punto de muestreo	Valor IRCA muestra	Clasificación	Acciones a tomar según la normativa legal vigente
Pozo subterráneo temporada de sequía	24,65	MEDIO	Informar a la persona prestadora del servicio, alcaldía, gobernación, al comité de vigilancia epidemiológica (COVE).
Pozo subterráneo temporada de lluvia	59,86	ALTO	Informar a la persona prestadora del servicio, alcaldía, gobernación, al comité de vigilancia epidemiológica (COVE) y a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).
Punto más lejano temporada de sequía	58,45	ALTO	Informar a la persona prestadora del servicio, alcaldía, gobernación, al comité de vigilancia epidemiológica (COVE) y a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).
Punto más lejano temporada de lluvia	58,45	ALTO	Informar a la persona prestadora del servicio, alcaldía, gobernación, al comité de vigilancia epidemiológica (COVE) y a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

Fuente: Autores, 2023. Resolución 2115 de 2007, Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

1.3. Acciones recomendadas para el tratamiento del agua del pozo subterráneo

En cuanto al sistema de distribución y almacenamiento del agua, el corregimiento ya cuenta con uno, aunque, se debe resaltar que, para la planeación, diseño y puesta en marcha de este, no se tomaron como referencia los requerimientos mínimos estipulados en la normatividad vigente. Aun así, esta investigación propone una alternativa rentable e individual que pueda reducir algunos contaminantes presentes en el agua.

Según el reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico RAS (MinVivienda), la filtración lenta se puede emplear como único tratamiento de la calidad del agua cruda siempre y cuando la variable de calidad no supere los 15 UNT, por ende, recordando que el valor máximo de turbiedad no supera los 0.2 UNT, este método puede ser implementado para el tratamiento del agua consumida por la comunidad. Además, es importante mencionar que la Resolución 0330 de 2017, dentro de sus apartados menciona que se debe implementar un método de desinfección por cloración para así, garantizar la seguridad de la ingesta del mismo.

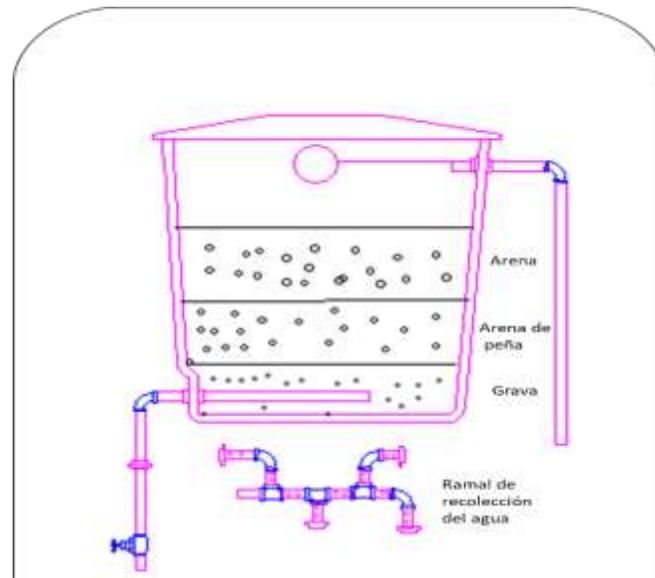
La filtración lenta de arena consiste en la articulación de procesos físicos y biológicos que eliminan los microorganismos patógenos presentes en el agua no apta para el consumo humano, pero su función principal es la eliminación de la turbiedad. Por lo siguiente esta tecnología es considerada limpia ya que, no genera subproductos que contaminen al ambiente (Villanueva, 2021).

Esta tecnología se describe como la circulación del agua cruda a bajas velocidades mediante un lecho poroso de arena. Durante este proceso, las partículas con retenidas en la superficie del manto filtrante generando posteriormente material de degradación química. El agua que ingresa al sistema de filtración permanece en la unidad de tres a doce horas; durante este tiempo, se sedimentan las partículas con mayor peso y las de menor peso se aglomeran lo cual facilita su posterior retiro. Durante el proceso de filtración en la capa superficial se generan algas gracias a la influencia de la luz solar, las cuales adsorben nutrientes, dióxido de carbono y otros nutrientes que entraron en reacción con las impurezas orgánicas presentes en el líquido, logrando que estas sean asimilables para los microorganismos. La capa creada por las algas es conocida como piel de filtro y es la primera capa por la que debe pasar el agua cruda antes de llegar al filtro de arena y se encarga de atrapar, digerir y eliminar la materia orgánica del afluente.

En consecuencia, los filtros lentos de arena mejoran la calidad del agua de manera significativa ya que, se encargan de remover las partículas de turbiedad, reduce el olor y sabor de la misma, así como la reducción de los patógenos en el líquido (Rivas y García, 2017). Dentro de las ventajas más evidentes de este proceso está la mejora de la calidad física, química y microbiológica del efluente, la eficiencia del tratamiento, su sencillez y factibilidad económica (Blacio y Palacio, 2011).

Por las razones antes mencionadas, se propone el siguiente montaje para el filtro lento de arena (Figura 4).

Figura 4: Prototipo de montaje del filtro de arena



Fuente: Autores, 2023.

Una vez planeado el montaje, se mostrarán los materiales, costos y presupuestos sugeridos para la elaboración del mismo (Tabla 7)

Tabla 7: Materiales, costos y presupuesto del filtro de arena.

Materiales del filtro de arena y Presupuesto				
Material	Descripción	Cantidad para un filtro	Valor Unitario	Total
Tanque de 500 ml	Tanque plástico con tapa	1	\$ 378.000	\$ 378.000
Adaptador macho 1/2"	Se utilizarán como línea de entrada al filtro. Su cantidad está sujeta a la disponibilidad de espacio de la vivienda.	4	\$ 2.900	\$ 11.600
Entrada y salida del tanque PVC 1/2"	---	2	\$ 5.900	\$ 11.800
Adaptador y acoplador hembra PVC 1/2"	Se utilizarán en la acometida del suministro del agua cruda. Su cantidad está sujeta a la disponibilidad de espacio de la vivienda.	8	\$ 1.200	\$ 9.600

Grifo de 1/2"	---	1	\$ 14.900	\$ 14.900
Codo de 90° 1/2"	Se usarán en las uniones necesarias en la línea de entrada del filtro y salida del agua tratada. Su cantidad está sujeta a la disponibilidad de espacio de la vivienda.	6	\$ 1.600	\$ 9.600
Unión universal 1/2"	---	1	\$ 7.900	\$ 7.900
Tapones de 1/2"	Se utilizarán en el ramal de distribución del agua cruda al filtro y en la red de drenaje del agua filtrada. Su cantidad está sujeta a la disponibilidad de espacio de la vivienda	6	\$ 1.600	\$ 9.600
Tubo PVC 1/2"	Los tubos se venden por 3 metros y la cantidad de los mismos está sujeta a cambios por la disponibilidad de espacio de la vivienda.	2	\$ 14.900	\$ 29.800
Soldadura líquida para PVC	---	1	\$ 6.600	\$ 6.600
Limpiador para PVC	---	1	\$ 3.100	\$ 3.100
Cinta de teflón	---	1	\$ 5.000	\$ 5.000
Flotador de bola	---	1	\$ 24.000	\$ 24.000
Gravilla	El tamaño de las partículas deberá estar entre 20 mm, se utilizará como base del lecho filtrante con un espesor de 15 cm. (Se pedirán por bultos de 40kg)	2	\$ 12.900	\$ 25.800
Arena de río	El tamaño de las partículas deberá estar comprendido entre los 0,7 y 0,12 mm. Se utilizará como capa secundaria del lecho filtrante con un espesor de 15 cm. (Se pedirán por bultos de 40kg)	6	\$ 12.900	\$ 77.400

Arena de peña	El tamaño de las partículas deberá estar comprendido entre los 0,3 y 0,45 mm. Se utilizará como capa final del lecho filtrante con un espesor de 40 cm. (Se pedirán por bultos de 40kg)	4	\$ 9.900	\$ 39.600
VALOR TOTAL COSTOS				\$ 425.900
IMPREVISTOS (10%)				\$ 42.590
VALOR TOTAL PROYECTO				\$ 468.490

Fuente: Autores, 2023.

Para iniciar con el montaje del filtro se recomienda hacer lavado con cloro del tanque de almacenamiento de los insumos a utilizar para así, evitar contaminaciones del filtro. Con relación a la puesta en marcha, es necesario tener en cuenta que la arena nueva no reduce la contaminación microbiológica y se hace necesaria la eliminación del primer efluente hasta obtener una reducción de este parámetro (Villanueva, 2021).

Por otra parte, el mantenimiento de los filtros lentos de arena es variable, puesto que, dependen de la variable de turbidez que presente el agua a tratar, por eso, la adecuada operación y mantenimiento del filtro de arena es fundamental en la eficiencia del filtro principalmente en los filtros nuevos. Los raspados realizados a la última cada de arena donde se generará el material biológico son fundamentales ya que el estado de maduración del mismo puede afectar la calidad del líquido, además, no se debe pasar por alto el re arenado luego de este procedimiento.

Diversos estudios han demostrado efectividad de los filtros en la remoción de contaminantes y bacterias en el agua para consumo, presentando reducciones en bacterias patógenas de hasta un 100%, lo cual, garantiza la seguridad de la ingesta del mismo luego de implementado el tratamiento (Arango, 2004). Ahora bien, en la investigación planteada por (Rivas y Garcias, 2017) y luego de la implementación de un filtro lento de arena, se evidencia una reducción del 100% en la bacteria *Escherichia Coli*. Dentro de las ventajas más notables en la implementación de este tratamiento esta su simplicidad, dado que permite ser implementados en las zonas rurales y la nula aplicación de compuestos químicos.

En estudios hechos por la Universidad Piloto de Colombia, determinó que dicho tratamiento al implementarse en un agua con valores de coliformes totales y fecales incontables antes de la implementación de un filtro lento de arena, paso a tener un valor de 0 UFC una vez fue puesto en marcha dicho método, además de disminuir parámetros como pH, dureza, entre otros (Torres y Villanueva, 2014).

Por último, la normatividad legal vigente enfatiza que todo proceso de potabilización debe culminar con un proceso de desinfección, para este caso se recomienda implementar una desinfección con Hipoclorito de Sodio (NaClO) y debe emplearse por un lapso de 20 minutos antes de la distribución del líquido para así, garantizar la desinfección del mismo.

CONCLUSIONES.

Tras analizar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua del pozo subterráneo de Cuatro Bocas, se puede concluir que, en cuanto a las características físicas, el pH (químico) se encuentra por debajo de los estándares establecidos por la normativa actual. Sin embargo, este aspecto no debe ser motivo de preocupación, ya que el pH de las aguas subterráneas generalmente oscila entre 5,8 y 8, lo que se considera aceptable.

En lo que respecta a los parámetros microbiológicos del agua, los niveles de Coliformes Totales y *Escherichia Coli* superan los límites máximos permisibles establecidos por la resolución vigente. Esta situación representa una seria preocupación para la salud de los consumidores, ya que estos valores exceden los máximos permitidos para considerar el agua apta para el consumo, según lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007.

El cálculo del Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) permite llegar a la conclusión de que la calidad del agua para consumo humano durante la temporada de sequía se clasifica como “Alto”; según las normativas legales vigentes, ya que muestra un promedio del 42,26%. Durante la temporada de lluvias, el índice alcanza el 58,45%, nuevamente clasificado como “Alto”; Por lo tanto, ambas temporadas, el agua se considera inapropiada para el consumo humano. La normativa existente es explícita en cuanto a las medidas a tomar, indicando que las personas encargadas del suministro del servicio, los alcaldes y los gobernadores deben tomar acciones directas para abordar esta situación.

BIBLIOGRAFÍA.

Arango Ruiz, Á. D. J. (2004). La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua.

Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27.

Blacio Ordóñez, D. A., & Palacios Pérez, J. L. (2011). *Filtros biológicos para la potabilización del agua, posibilidades de uso de FLA (filtros lentos de arena) con agua superficial de nuestra región* (Bachelor's thesis).

CORPORACION TECNICA ALEMANA. Compendio Informativo sobre Enfermedades Hídricas, 2008 p.7.

Galván Romero, J. C., & Guzmán Julio, A. C. (2020). Influencia de la calidad del agua subterránea en la resistencia a la compresión de morteros hidráulicos.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación (6ta ed.). México DF. *Mc Graw Hill Education*. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500,12404,13900>.

Ministerio de salud y protección social, Colombia. Enfermedades Vehiculizadas por Agua (Eva) e Índice de Riesgo de la Calidad Agua (Irca) en Colombia, Bogotá, D.C., 2016. Recuperado en: <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2016%20Enfermedades%20vehiculizadas%20por%20agua%202015.pdf>

Ministerio de salud y protección social, Colombia. Guía Que Amplia Aspectos Técnicos Para La Selección Del Punto De Muestreo Para El Control Y Vigilancia De La Calidad Del Agua Para Consumo Humano Sobre La Red De Distribución, (21, mayo, 2008). Bogotá D.C., 2008. Recuperado en: <https://acortar.link/vOrVQI>

Ministerio de La Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 (22, junio, 2007). Por medio de la cual se señalan las

características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Diario Oficial no. 46.679. Bogotá D.C., 2007.

Instituto Nacional De Salud. Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio. Bogotá D.C., 2011. Obtenido de <https://acortar.link/enrjb6>

Ministerio de La Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 (22, junio, 2007). Por medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Diario Oficial no. 46.679. Bogotá D.C., 2007.

Instituto Geológico Nacional. Química de las Aguas Subterráneas y su Importancia desde el punto de vista de Potabilidad e Higiene, Bogotá D,C.,1956. Obtenido de file:///C:/Users/Windows/Downloads/carolinasgc,+Bolet%C3%ADn+Geol%C3%B3gico+5_No.+1_Articulo_43-69(3).pdf

Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. pH En agua por Electrometría. Versión 03, 2007.p.3.

Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Coliformes Totales y E. Coli Por El Método De Filtración Por Membrana En Agar Chromocult. Versión 03, 2007.p.2.

Ministerio de La Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 (22, junio, 2007). Por medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Diario Oficial no. 46.679. Bogotá D.C., 2007.

Ministerio De Vivienda, Cuidad y Territorio. Por La Cual Se Adopta El Reglamento Técnico para El Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las Resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2013

de 2009 (08, junio, 2017). Bogotá D.C., 2017. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>

Rivas Arrieta, M. J., & García Méndez, W. J. (2017). Evaluación de la filtración lenta de arena para la potabilización del agua en el corregimiento de San José de Playón.

Torres Parra, C. A., & Villanueva Perdomo, S. (2014). El filtro de arena lento: manual de armado, instalación y monitoreo. *Universidad Piloto de Colombia*. Recuperado de: <https://www.unipiloto.edu.co/wpcontent/uploads/2013/11/El-filtro-de-arena-Lento-a-color-para-la-web.pdf>.

Villanueva Perdomo, S. Y. (2013). *Implementación de un sistema de filtración lento de arena en comunidades vulnerables para mejorar la calidad del agua para consumo humano según la normatividad ambiental vigente y la vulnerabilidad estructural de la vivienda* (Bachelor's thesis, Universidad Piloto de Colombia).

Villamizar I y Carrillo J. (2020). Tecnologías para la potabilización y tratamiento de aguas superficiales en Colombia.