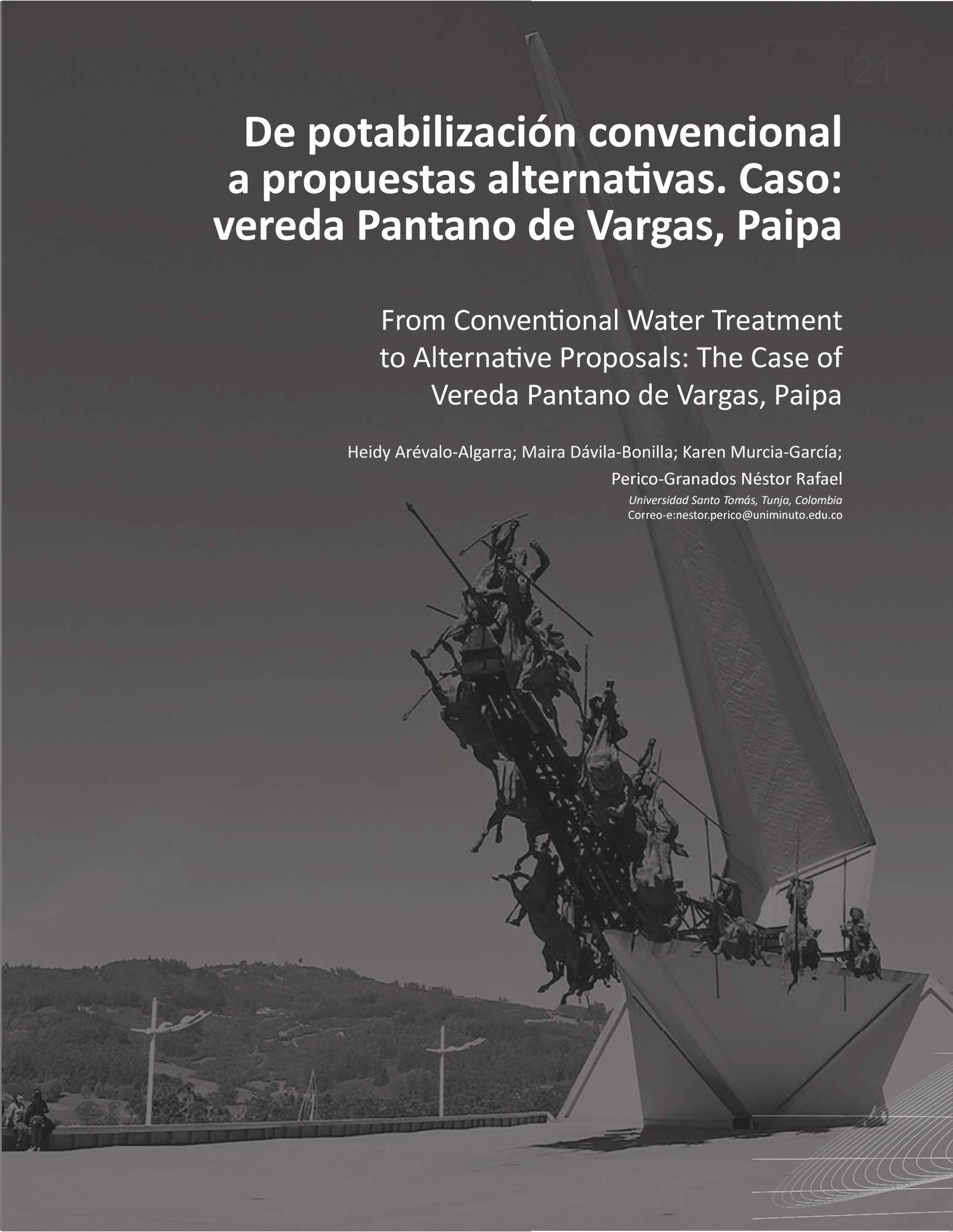


De potabilización convencional a propuestas alternativas. Caso: vereda Pantano de Vargas, Paipa

From Conventional Water Treatment to Alternative Proposals: The Case of Vereda Pantano de Vargas, Paipa

Heidy Arévalo-Algarra; Maira Dávila-Bonilla; Karen Murcia-García;
Perico-Granados Néstor Rafael
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia
Correo-e: nestor.perico@uniminuto.edu.co



Resumen

El agua, como recurso natural, es importante para cualquier ser viviente en la Tierra. Sin embargo, por el irrespeto a los recursos hídricos, se genera contaminación de las fuentes que conllevan enfermedades y alteraciones en la salud humana y en los seres vivos que se alimentan de estas fuentes. En la actualidad se cuenta con diversos avances tecnológicos que permiten realizar procesos de potabilización de agua. La identificación de los procesos no convencionales es esencial para implementarlos y definir los procesos que ayudan en la estabilización de los parámetros de calidad del agua. Al respecto, se elaboró un levantamiento topográfico de la zona de estudio, se tomaron muestras de agua para establecer los valores de parámetros de su calidad que influyen en los procesos que se pueden implementar en la fuente de la Quebrada Caimán y Peña Amarilla y así generar la potabilización para la comunidad de la Vereda del Pantano de Vargas en la ciudad de Paipa (Boyacá).

Palabras clave—Potabilización, recurso hídrico, tratamiento no convencional.

Abstract

Water as a natural resource is important for all living being on earth. But, due to the lack of awareness and disrespect for water resources, contamination of the sources has occurred, generating diseases and alterations in human health and the living beings that drink on them. At present, there are several technological advances that allow water potabilization processes to be carried out. The identification of unconventional processes is key to their proper implementation and define which of these processes helps in the stabilization of water quality parameters. A survey on the area of study was conducted, and water samples were taken to specify the values of water quality parameters that influence the processes that can be implemented at the source of the Caimán and Peña Amarilla generate water purification for the community of Vereda del Pantano de Vargas in the city of Paipa (Boyacá).

Key Words: Water treatment, water resources, unconventional treatment.

Para citar este artículo: Arévalo-Algarra, H; Dávila-Bonilla, M; Murcia-García, K; Perico-Granados N.R. De potabilización convencional a propuestas alternativas. Caso: vereda Pantano de Vargas, Paipa" In L'Esprit Ingenieur. Vol. 12-1, pp. 21-40.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un requerimiento básico para la vida y la salud. En la Tierra la cantidad de agua alcanza los 1.385 millones de Km³. Sin embargo, menos del 3 % de esta cantidad es agua dulce y la mayor parte de esta no se aprovecha porque se encuentra en los casquetes polares y a grandes profundidades, en los acuíferos. El agua dulce superficial, alcanza apenas el 0.3 % del agua dulce total y se encuentra en ríos, lagos y acuíferos. De igual manera, la distribución per cápita del mundo es bastante irregular, ya que en Canadá se dispone de cerca de 109.000 m³/habitante al año, y en otras regiones como el Medio Oriente se cuenta con menos de 1.000 m³/habitante al año (IDEAM, 2001). Igualmente, los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación. Unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente a aguas receptoras. Dentro de estos desechos se encuentran residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas. Se estima que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 Km³, asumiendo que un litro de agua residual contamina 8 litros de agua dulce (UNESCO-WWAP, 2003).

Al respecto, Colombia cuenta con una amplia riqueza hídrica por su localización intertropical ecuatorial y su orografía. Se refleja en los 3.000 mm promedio de precipitación, con un 88 % del área del país con lluvias superiores a 2.000 mm. Esto genera un rendimiento promedio para el país de 58 l/s/km² con valores extremos de más de 100 l/s/km² en el Pacífico y 1 l/s/km² en la Guajira (Ministerio de Salud y Protección Social -MINSALUD-, 2016). La riqueza hídrica se ve en la favorable condición de almacenamiento superficial, la cual cuenta con un 1,81 % de la escorrentía anual, donde el 0,47 % se almacena en pantanos, el 1,30% en lagos naturales y el 0,04 % en los páramos. De otro lado, la materia orgánica biodegradable vertida a los sistemas hídricos en 2012 se estimó en 756.945 t/año, mientras que la materia orgánica no biodegradable como sustancias químicas, se estimó en 918.670 t/año. Los vertimientos de mercurio son otra afectación, con 205 t. vertidas al suelo y a los ríos a nivel nacional (IDEAM, 2015). Igualmente, la deforestación es un problema que se observa en el departamento de Boyacá, para la ampliación de fronteras agrícolas, ganaderas y mineras. Al respecto, se pasó de 5.125 Km² en el 1998 a 11.346 Km² en el año 2006, y ha causado una degradación en los suelos, con procesos erosivos severos, y ha alterado el balance hídrico de las cuencas que proveen de agua al departamento (Perico-Granados, Garavito et ál., 2014). Igualmente, se genera la contaminación del recurso hídrico de algunos afluentes cercanos al municipio de Paipa, con la proliferación de micrófitos y algas debido al ingreso excesivo de nutrientes, y se da el incremento del contenido de DBO y el aporte de nutrientes por la producción agrícola (CORPOBOYACÁ, 2009).

Consumir agua no potable es una fuente de infección y la causa de diversas enfermedades gastrointestinales, como el cólera (Catalunya, 2000). La mayoría de las fuentes de abastecimiento de agua, tanto superficiales como subterráneas, requieren de un tratamiento previo para su consumo, debido a que poseen cierto grado de contaminantes y sustancias nocivas para la salud del ser humano. Un caso común de contaminación de aguas subterráneas se evidencia con la infiltración de los lixiviados que se producen en un relleno sanitario (A, M, y F, 2003). En unos países las limitaciones económicas hacen que el porcentaje de producción de agua potable sea mínimo, en comparación a las necesidades que se tienen. Las tecnologías existentes para resolver el problema de la potabilización del agua demandan altos presupuestos, por tanto, es importante optar por un cambio tecnológico que, aplicando los principios del desarrollo sostenible, adapte y mejore los sistemas de captación, tratamiento y reutilización, hasta convertirlos en sistemas plenamente sostenibles (Agency, 2000). La investigación se hizo con el método de proyectos aplicado al ámbito formativo (Perico-Granados, Caro, y Garavito, 2015) y (Perico-Granados et al., 2020). Igualmente, se promovió la utilización de procesos

alternativos para potabilizar correctamente el agua, con la reducción del impacto ambiental por el uso de químicos y sus efectos en la salud para quien consume el agua. La propuesta se hizo con el uso de semillas de moringa y de habas molidas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas de tratamiento de agua potable

Los sistemas de potabilización son aquellos que permiten eliminar los microorganismos presentes en el agua sin tratar y que pueden ser dañinos para los seres humanos. Estos sistemas de tratamiento se pueden encontrar en forma de pastillas, filtros o rayos ultravioleta, entre otros (Castillo y Gómez, 2011); (Arboleda Valencia, 1992); (Acosta Castellano, et al., 2014); (Araque-Niño et al., 2018b); (Perico-Granados, et al., 2021). Algunos de estos sistemas se describen a continuación en la Figura 1:

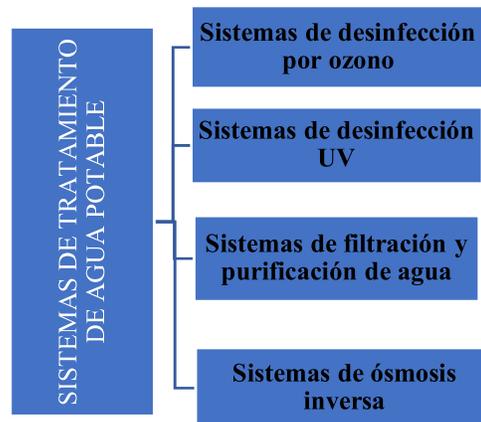


Figura 1. Sistemas de tratamiento de agua potable.

2.2 Plantas de tratamiento de agua potable

Una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) es una infraestructura que se diseña para transformar el agua bruta o cruda en apta para el consumo humano (Pineda Buitrago, 2017). El 28 % de la población rural de Colombia enfrenta una situación crítica, por la falta de acueducto, dado que toman el agua de pozos y ríos ubicados cerca de su vivienda y se exponen a la adquisición de enfermedades. En Colombia, en un periodo de 20 años se pasó de cubrir el 41 % al 72,8 % del total de la población rural. Esto indica que, anualmente, se incrementó la atención de la necesidad de agua potable en un 1,6 % de la población, aproximadamente. Ese es un alcance mínimo, teniendo en cuenta que en Colombia hay 11'653.673 personas viviendo en el campo. Allí se hace el proceso con el propósito de potabilizarla y hacerla apta para el consumo humano (Castillo y Gómez, 2011). El agua que sale de una PTAP debe cumplir con los parámetros de calidad establecidos por las normas de cada país. Los elementos de una planta de tratamiento son la captación, floculación, decantación de residuos, filtración, desinfección y alcalinización, antes de su distribución. Durante todo el proceso de potabilización del agua se realizan controles de calidad. La suma de las etapas para potabilizar el agua puede tomar 4 horas. En el caso de las aguas subterráneas el único tratamiento que requiere, generalmente, es la cloración. Esto se debe a que el agua suele ser más pura a grandes profundidades. Para confirmar que el agua ya es potable, debe ser inodora (sin olor), incolora (sin color) e insípida (sin sabor), además de satisfacer ciertos controles de calidad estándar (Arboleda Valencia, 1992).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Etapa 1

Se construyó el marco teórico del proyecto, con base en una revisión bibliográfica y de las normas colombianas vigentes, como el Reglamento de agua potable y saneamiento básico (RAS). Allí, en el título B se encuentra el Capítulo 3, el cual describe las características de las fuentes de abastecimiento. En el ítem 3.4.2.1 Calidad del agua de la fuente, se presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento. En este mismo ítem se observa la tabla de valores máximos admisibles de las normas microbiológicas, físicas y químicas de la calidad del agua potable. Igualmente, se hizo la selección de un caso de estudio para llevar a cabo los análisis de las fuentes. En esta etapa se estructuró un diagnóstico del sistema de la PTAP del estudio de caso (ACUAVARC – Vereda Pantano de Vargas- Paipa - Boyacá). Se llevaron a cabo visitas de campo para evaluar el estado y dimensionamiento de la infraestructura de la PTAP. Se obtuvo un registro fotográfico y se hicieron las entrevistas a personas como el fontanero a cargo del acueducto. Se revisaron documentos y planos existentes de la infraestructura y georreferenciación de la estructura con GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Igualmente, se inspeccionaron las fuentes de captación y planta de tratamiento de agua (PTAP) y se describieron y caracterizaron las fuentes de abastecimiento. Se tomaron las muestras de agua de las fuentes para llevar a cabo los estudios.

3.2 Etapa 2

Se buscaron alternativas no convencionales, enfocadas principalmente al manejo de la cuenca de abastecimiento de agua, con el fin de encontrar su adaptación y, de esta manera, disminuir en la medida de lo posible el uso del tratamiento químico en la potabilización del agua. De igual forma, se estudiaron los beneficios que estas alternativas traen en el momento de su implementación, en cuanto al costo, operación, mantenimiento y vida útil de la planta. Se esperan aportes también a la preservación de la fuente de abastecimiento del acueducto. Es un compromiso de los docentes de Ingeniería ayudar a construir conocimiento que contribuyan al sostenimiento ambiental (Perico-Granados y Perico-Martínez, 2014).

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los siguientes resultados se obtuvieron de los análisis llevados a cabo en el laboratorio certificado (Analizar Laboratorio Físicoquímico LTDA.). Los ensayos fueron físicoquímicos, el tipo de agua usada para el análisis es superficial cruda. El agua analizada proviene del sector Pantano de Vargas – Quebrada Caimán, de la ciudad de Paipa, a 100 metros arriba de la bocatoma. Las muestras se tomaron en el mes de enero de 2018. Los resultados para la muestra 1 fueron (Tabla 1):

Tabla 1. Resultados obtenidos para la muestra 1

DESCRIPCIÓN	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO	V A L O R MAX. ACEPTABLE
Alcalinidad total (A)	Mg CaCO ₃ /L	14,08	200
Conductividad (A)	Microsiemens/cm	43,9	1000
Turbiedad (A)	UNT	12,30	<=2

Cloruros (A)	Mg Cl/L	<5,41	250
Color Aparente (A)	UPC	14,84	<=15
DQO Total (A)	mg O ₂ /L	<14,98	N.E.
DQO Soluble	mg O ₂ /L	<14,98	N.E.
DBO ₅ Total (A)	mg O ₂ /L	4	N.E.
DBO ₅ Soluble	mg O ₂ /L	3	N.E.
Fluoruros	mg F/L	0,13	1.0
Fosfatos (A)	mg PO ₄ ³⁻ /L	0,10	0.5
Hierro total	mg Fe/L	2,22	0.3
Magnesio	mg Mg/L	0,48	36
Manganeso	mg Mn/L	<0,05	0.1
Nitritos (A)	mg NO ₂ /L	<0,018	10
Coliformes Totales	UFC/100 cm ³	410	0

Fuente: Adaptado de Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Título B.

Los resultados permiten observar que los parámetros medidos en su mayoría cumplen los rangos máximos permitidos por la norma (RAS), pero los parámetros de turbiedad, hierro total y coliformes totales superan los rangos establecidos. Para definir la calidad de esta fuente, es necesario realizar un ensayo de sólidos suspendidos y oxígeno disuelto para así identificar el ICA (Índice de calidad del agua). Este índice es un valor numérico que califica cinco categorías que son: el oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica y pH. A estos valores se les asigna una ponderación para así determinar la calificación de la calidad del agua que va desde una calidad buena a muy mala (Castro, Almeida, Ferrer, y Díaz, 2014). Por su parte, el parámetro de hierro total supera lo establecido por la norma, aunque este metal es útil en la salud del ser humano, su exceso o deficiencia puede conducir a problemas en la salud (Londoño, Londoño, y Muñoz, 2016). Cuando excede, como en el caso presente, se pueden generar enfermedades como la hemosiderosis y hemocromatosis y afectan a órganos como el hígado y bazo, además de los tejidos corporales (Amatriain, 2000). Igualmente, la muestra analizada no es potable, debido que parámetros como los coliformes están muy por encima y este parámetro limita el consumo del agua porque esta familia de bacterias es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición (Palta y Morales, 2013). Su consumo genera en el ser humano diarreas y otras enfermedades intestinales (Soto, Pérez, y Estrada, 2016). Finalmente, la turbidez es una característica importante en la potabilización del agua. En la muestra es superior con base en la norma y se puede asociar con riesgos microbiológicos (Montoya, Loaiza, Torres, Cruz, y Escobar, 2011). Para la muestra 2 se tienen los siguientes resultados (Tabla 2):

Tabla 2. resultados obtenidos para la muestra 2

DESCRIPCIÓN	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO	VALOR MAX. ACEPTABLE
Alcalinidad total (A)	Mg CaCO ₃ /L	7,48	200
Conductividad (A)	Microsiemens/cm	26,1	1000
Turbiedad (A)	UNT	6,03	<=2

Cloruros (A)	Mg Cl/L	<5,41	250
Color aparente (A)	UPC	19,19	<=15
DQO Total (A)	mg O ₂ /L	<14,98	N.E.
DQO Soluble	mg O ₂ /L	<14,98	N.E.
DBO ₅ Total (A)	mg O ₂ /L	5	N.E.
DBO ₅ Soluble	mg O ₂ /L	3	N.E.
Fluoruros	mg F/L	0,16	1.0
Fosfatos (A)	mg PO ₄ ³⁻ /L	0,10	0.5
Hierro total	mg Fe/L	0,67	0.3
Magnesio	mg Mg/L	0,90	36
Manganeso	mg Mn/L	<0,05	0.1
Nitritos (A)	mg NO ₂ /L	<0,018	10
Coliformes Totales	UFC/100 cm³	820	0

Fuente: Adaptado de Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Título B.

De la misma manera, esta muestra presenta valores en sus parámetros de turbiedad, hierro total y coliformes totales fuera de los rangos establecidos por la norma (RAS). Se le suma el parámetro de color aparente. Los otros parámetros analizados presentan un valor dentro de los rangos, cumpliendo con la norma. La resolución 2115 de 2007 ratifica que los parámetros que se encuentran fuera del rango límite hacen que la fuente analizada no sea apta para el consumo humano y que se requiere de un tratamiento que contenga desinfección para garantizar la ausencia de coliformes, que para esta fuente duplica el valor de la muestra 1 (Guayara, Moreno, y Herrera, 2010). El parámetro de la turbidez que supera el valor permitido por la norma implica que puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro OMS (Organización Mundial de la Salud), 2006).

El color aparente engloba no solo el color, sino a sustancias disueltas debido a las materias en suspensión; esta puede presentarse alta por una posible relación con la turbiedad, dada la cantidad de partículas en suspensión presentes en el agua (Chaparro y Ovalles, 2017). De otro lado, el hierro puede generar corrosión en las tuberías de acero, lo que provoca que el agua se torne de un color (rojizo) y de mal sabor (Sawyer, McCarty, y Parkin, 2001). Los coliformes totales se presentan en mayor cantidad en esta muestra la cual, si es consumida, puede generar náuseas, vómito, diarrea y fiebre, pero si la bacteria llega a los riñones o a la sangre puede generar enfermedades o infecciones en el hígado y el sistema nervioso (Rock y Rivera, 2014). Para este caso, se comparó la Tabla 3, Calidad de la fuente, del título B del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico con los resultados obtenidos. En esta se dan los parámetros para la calidad de agua y abastecimiento de este a la comunidad. En la Tabla 4 están los parámetros por medir para determinar la calidad del agua de la fuente, permite

observar los valores máximos admisibles de la calidad de agua potable. Esta también permite observar los parámetros de comparación máximos recomendados para caracterizar el agua de la fuente superficial o subterránea, según su nivel de calidad.

Tabla 3. Calidad de la fuente (ministerio de desarrollo económico, 2010).

PARÁMETROS	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación.			
	Norma Técnica NTC	Standard Method ASTM	Fuente aceptable	Fuente regular	Fuente Deficiente	Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			<1.5	1.5-2.5	2.5-4	>4
Máximo diario mg/L			1-3	3-4	4-6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0-50	50-500	500-5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	>=4	>=4	>=4	<4
Ph Promedio	3651	D 1293	6.0-8.5	5.0-9.0	3.8-10.5	
Turbiedad)(UNT	4707	D1889	<2	2-40	40-150	>=150
Color verdadero (UPC)			<10	10-20	20-40	>=40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L-Cl)		D 512	<50	50-150	150-200	300
Fluoruros (mg/L-F)		D 1179	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE: literal C.7.4.3.39	SI
Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
Procesos de tratamiento utilizados.			(1)= Desinfección + Estabilización	(2)= Filtración lenta o filtración directa +(1)	(3)= Pretratamiento + [Coagulación + sedimentación + filtración rápida] + [Filtración lenta diversas etapas]+(1)	(4) =(3) +Tratamientos específicos

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Título B.

La Tabla 3 (Calidad de la fuente) permite observar valores de referencia para tener una fuente hídrica óptima para que el agua sea potabilizada y se dé su consumo. Los parámetros mostrados son aquellos que definen según su valor en qué situación se presenta la fuente (aceptable, regular, deficiente y muy deficiente). La norma busca que a nivel nacional se establezca estos parámetros como los orientadores para que los entes gubernamentales provean de agua potable óptima para el consumo y así disminuir afectaciones en las personas por consumir agua no

potable. Según el nivel de calidad que se tenga de la fuente, la norma establece un grado de tratamiento en las PTAP (Plantas de Tratamiento de Agua Potable). Es importante resaltar que el grado de tratamiento es de tipo convencional. La calidad del agua significa la condición para que el recurso hídrico sea utilizado para usos concretos como el consumo humano la cual debe estar libre de organismos, sustancias químicas y color, olor y sabor aceptables, el deterioro de la fuente de agua dado que esta puede perder su utilidad si no se encuentra en las condiciones para un uso específico (Monforte y Cantú, 2009). El conocimiento de la calidad del agua es fundamental en las fuentes hídricas, en especial las del consumo humano (Pérez, 2016).

Tabla 4. Parámetros por medir para determinar la calidad del agua de la fuente (Ministerio de Desarrollo Económico, 2010)

CARACTERÍSTICAS	Valor máximo admisible	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de calidad de la fuente recomendados según el nivel de calidad de la fuente			
		Norma Técnica NTC	Standard Method ASTM	Aceptable	Regular	Deficiente	Muy Deficiente
Microbiológicas							
Coliformes totales UFC/100 cm ³	0			X	X	X	X
Escherichia Coli UFC/100 cm ³	0		D 5392			X	X
Físicas							
pH	6.5-9.0		D 1293	X	X	X	X
Turbiedad UNT	<= 2	4707	D 1889	X	X	X	X
Color Aparente UPC	<=15			X	X	X	X
Conductividad US/cm	1000		D1125	X	X	X	X
Olor y sabor	Aceptable		D 1292	X	X	X	X
Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana							
Nitritos – mg/l	0.1			X	X	X	X
Fluoruros – mg/l	1.0						X
Químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana							
Alcalinidad total – mg/l	200			X	X	X	X
Cloruros – mg/l	250			X	X	X	X
Hierro total - mg/l	0.3			X	X	X	X
Magnesio – mg/l	36			X	X	X	X
Manganeso – mg/l	0.1					X	X
Fosfatos – mg/l	0.5					X	X

Fuente: Adaptada del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Título B.

Se observaron los valores que se especifican en el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico), para la calidad de la fuente de agua y los valores máximos admisibles de los parámetros para tener en cuenta para la calidad del agua potable. Se hizo la comparación con los resultados obtenidos de las dos muestras de agua de los afluentes hídricos del acueducto ACUAVARC. Esta comparación se muestra en la Tabla 5.

- **Para la muestra 1**

Tabla 5. Comparación de parámetros estudiados en la muestra 1, con los especificados en el RAS

DESCRIPCIÓN	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO	CALIDAD DE LA FUENTE	PARÁMETRO DE COMPARACIÓN
Alcalinidad total (A)	Mg CaCO ₃ /L	14,08	No aplica	Aceptable
Conductividad (A)	Microsiemens/cm	43,9	No aplica	Aceptable
Turbiedad (A)	UNT	12,30	Fuente Regular	Deficiente
Cloruros (A)	Mg Cl/L	<5,41	Fuente Aceptable	Aceptable
Color Aparente (A)	UPC	14,84	No aplica	Aceptable
DQO Total (A)	mg O ₂ /L	<14,98	No aplica	No aplica
DQO Soluble	mg O ₂ /L	<14,98	No aplica	No aplica
DBO ₅ Total (A)	mg O ₂ /L	4	Fuente Deficiente	No aplica
DBO ₅ Soluble	mg O ₂ /L	3	Fuente Regular	No aplica
Fluoruros	mg F/L	0,13	Fuente aceptable	Aceptable
Fosfatos (A)	mg PO ₄ ³⁻ /L	0,10	No aplica	Aceptable
Hierro total	mg Fe/L	2,22	No aplica	Muy deficiente
Magnesio	mg Mg/L	0,48	No aplica	Aceptable
Manganeso	mg Mn/L	<0,05	No aplica	Aceptable
Nitritos (A)	mg NO ₂ /L	<0,018	No aplica	Aceptable
Coliformes Totales	UFC/100 cm ³	410	No aplica	Muy deficiente

Con la comparación el RAA, se observa que para la muestra 1 la calidad de la fuente presenta valores aceptables con respecto a los parámetros de cloruros y fluoruros. Para parámetros como la turbiedad, color aparente y DBO soluble se presenta una fuente regular y deficiente para el parámetro de DBO total. Los valores de parámetros de la alcalinidad total, la conductividad, los cloruros, el color aparente, los fluoruros, fosfatos, el magnesio, manganeso, y nitritos están en rangos aceptables. Por otro lado, los coliformes totales y hierro total se muestra una fuente muy deficiente. El grado de turbidez permite establecer el tratamiento requerido, en especial en los procesos convencionales de coagulación, sedimentación y filtración. Al presentarse altos índices de turbidez, los filtros se suelen taponar y esto afecta la eficiencia de la planta de

potabilización de agua (Romero, 2009). El parámetro de la turbidez alta implica que en el proceso de coagulación se dé la adición de sustancias químicas como el sulfato de aluminio, donde puede presentarse afectaciones o asimilaciones negativas en el cuerpo humano a largo plazo, asociado a enfermedades como el cáncer, Alzheimer y enfermedades óseas (Guardián y Coto, 2010). Por otro lado, el hierro total presente en el agua, al estar expuesto al oxígeno del aire, hace turbia el agua y presenta coloración por los óxidos de hierro, con falencias estéticas del agua para su consumo (Romero, 2009). Este metal es esencial para la vida pero en cantidades elevadas resulta tóxico, desarrollando alteraciones del metabolismo humano (Toxqui et al., 2010). Para disminuir este parámetro se debe aplicar el proceso de aireación en el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire, con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias, en este caso el hierro (Romero, 1999). Luego se hace la sedimentación, donde se provee el tiempo de reacción para que se complete la oxidación y así remover el floc pesado sedimentado. Por último, se tiene la filtración la cual remueve el hierro (Romero, 2009). El agua presenta altos índices de coliformes totales lo que indica que esta se encuentra contaminada por residuos provenientes del ser humano (excremento humano), animales o de la erosión del suelo (Romero, 2009).

- **Para la muestra 2**

Tabla 6. Comparación de parámetros estudiados en la muestra 2, con los especificados en el RAS

DESCRIPCIÓN	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO	CALIDAD DE LA FUENTE	PARÁMETRO DE COMPARACIÓN
Alcalinidad total (A)	Mg CaCO ₃ /L	7,48	No aplica	Aceptable
Conductividad (A)	Microsiemens/cm	26,1	No aplica	Aceptable
Turbiedad (A)	UNT	6,03	Fuente Regular	Deficiente
Cloruros (A)	Mg Cl/L	<5,41	Fuente Aceptable	Aceptable
Color Aparente (A)	UPC	19,19	No aplica	Regular a Deficiente
DQO Total (A)	mg O ₂ /L	<14,98	No aplica	No aplica
DQO Soluble	mg O ₂ /L	<14,98	No aplica	No aplica
DBO ₅ Total (A)	mg O ₂ /L	5	Fuente Deficiente	No aplica
DBO ₅ Soluble	mg O ₂ /L	3	Fuente Aceptable	No aplica
Fluoruros	mg F/L	0,16	Fuente Aceptable	Aceptable
Fosfatos (A)	mg PO ₄ ³⁻ /L	0,10	No aplica	Aceptable
Hierro total	mg Fe/L	0,67	No aplica	Deficiente
Magnesio	mg Mg/L	0,90	No aplica	Aceptable
Manganeso	mg Mn/L	<0,05	No aplica	Aceptable
Nitritos (A)	mg NO ₂ /L	<0,018	No aplica	Aceptable
Coliformes Totales	UFC/100 cm ³	820	No aplica	Muy Deficiente

De igual manera, para la muestra 2 se observa que en la calidad de la fuente los valores aceptables son los Cloruros, los Fluoruros y el DBO soluble. La muestra presenta también una clasificación de fuente regular para Turbiedad, Color aparente y clasificación deficiente para el DBO Total. La muestra presenta menor calidad que la muestra 1. Sin embargo, es aceptable para parámetros como alcalinidad, conductividad, cloruros, fluoruros, fosfatos, magnesio, manganeso y nitritos. En la turbiedad y hierro total se presenta una clasificación deficiente y se presenta de regular a deficiente el parámetro de color aparente y muy deficiente la descripción de Coliformes totales. El color aparente que se presenta en el agua y que es superior a lo establecido por la norma, se presenta por la presencia de hierro coloidal, también la presencia de desechos orgánicos en diferentes estados de descomposición (Romero, 2009). En este caso, se implementaría procesos de pretratamiento químico como la coagulación (con sustancias químicas), seguido de la floculación y la sedimentación finalizando con una filtración rápida en arena. Este mismo procedimiento se aplicaría para la disminución de la turbidez, teniendo en cuenta un proceso de filtración lenta (Romero, 1999). Este tratamiento se haría con los procesos convencionales, pero los coagulantes químicos afectan a la salud humana a largo plazo (Arboleda Valencia, 1992). Para el caso del hierro total, se puede aplicar en primer lugar una mezcla rápida (para ajuste de pH y oxidante químico), seguido de un tanque de retención, luego de una filtración y finalmente un tanque de contacto donde se añade cloro para la desinfección (Romero, 1999). Los coliformes totales presentan bacterias, patógenos y causan infecciones del tracto urinario y respiratorio. Estas bacterias se encuentran en el tracto digestivo humano y libremente en el suelo (Carrillo y Lozano, 2008). El tipo de tratamiento que se podría dar es la cloración, seguido de una filtración rápida en arena con una poscloración (Romero, 1999).

En el año 2015, según el IRCA (Índice de Riesgo de la Calidad del Agua), en el departamento de Boyacá tenía solo 10 municipios (8.13 %) con suministro de agua sin riesgo, 18 municipios (14.63 %) con riesgo bajo y 47 municipios (38.21 %) con riesgo medio (Ministerio de Salud y Protección Social -MINSALUD-, 2016). En Paipa, con 64 muestras municipales, 37 en la zona urbana y 27 muestras en la zona rural, el IRCA presentó un riesgo medio. Con valores de 1,84 % del IRCA municipal, en la zona urbana el IRCA es de 0.19 % y en la zona rural es de 4.10 % (Carlos y Moreno, 2015). Entonces, con un riesgo medio, el agua no es apta para el consumo humano, debido a que sobrepasan los valores permisibles de características físicas, químicas y microbiológicas dadas por el RAS y esto causa un riesgo en la salud humana (EPM, s. f.). Esto ratifica que los valores encontrados, en las fuentes analizadas de la zona rural de Paipa, presentan un IRCA con un porcentaje alto, con respecto a la calidad del agua del sector urbano, debido al tratamiento previo que se tiene en la zona urbana. Adicionalmente, en la vereda del Pantano de Vargas se genera el turismo de forma permanente, con muy pocos elementos de sanidad ambiental. Gracias a la fácil accesibilidad al lugar, esta zona cuenta con restaurantes, locales de artesanías y cafeterías, que generan problemas ambientales por los residuos generados cuya recolección es mínima. Esta puede ser una de las causas de la alta presencia de Coliformes totales en las fuentes analizadas (Leguizamo, 2013).

Los procesos de tratamiento de agua para el consumo humano son físicos, químicos o biológicos. Los procesos que se aplican en su gran mayoría son los físicos y químicos para la potabilización de agua. Los tratamientos físicos son los que no generan sustancias nuevas sino concentran los contaminantes en la evaporación o filtración de los sólidos como: la filtración, adsorción, aireación, floculación, clarificación o sedimentación. Por otro lado, en los procesos químicos se da la generación de nuevas sustancias por medio de los procesos de coagulación, desinfección, ablandamiento y oxidación (Salamanca, 2016). Según la ley 475/1998, los métodos y procesos para el tratamiento del agua son: la coagulación, seguido de un proceso de floculación y

sedimentación, se da luego la filtración rápida y lenta (de forma ascendente y descendente) y por último la desinfección tanto física como química (Hernández y Corredor, 2017). Con base en las comparaciones, se podrían establecer esta fuente como de regular a deficiente. Se podría dar un tratamiento con desinfección + estabilización + filtración lenta o filtración directa + pretratamiento (coagulación + sedimentación) (Ministerio de Desarrollo Económico, 2010). Este posible proceso de tratamiento se determinó a partir de lo especificado en la Tabla III, de forma tradicional (Calidad de la Fuente). Sin embargo, hay métodos alternativos en los que se pueden implementar mecanismos de potabilización de la fuente, de forma no convencional.

De esta manera, se busca no usar productos químicos que son a largo plazo perjudiciales para el ser humano (Grisales, 2009) Municipios de Boyacá, como Saboyá, presentan fuentes deficientes. En Cundinamarca, municipios como Ubaté cuentan con fuente regular y

tienen un sistema de potabilización (González y Niño, 2006). La PTAP (Planta de tratamiento de agua potable) de Ubaté presenta un proceso de rejilla + desarenación+ mezcla rápida y ajuste de pH + floculación + sedimentación + filtración + desinfección, el cual es óptimo para cumplir con el RAS. Para el caso donde el agua llegue con olor y color, se implementa un sistema de oxidación, ya sea químico o por aireación (Gonzalez y Niño, 2006). Por otro lado, en Saboyá se da un proceso más simple, iniciando con la rejilla+ desarenación+ filtración lenta y ascendente + desinfección. En el caso de este municipio no se cumple el RAS y se debe implementar un clarificador (coagulación + floculación + sedimentación) y una torre de aireación (González y Niño, 2006). Las PTAP's de estos municipios son un ejemplo de cómo se puede dar la potabilización de agua de fuentes regulares y deficientes por medio de soluciones convencionales. En la Tabla 7 se observan las tecnologías convencionales de potabilización de agua y sus limitaciones:

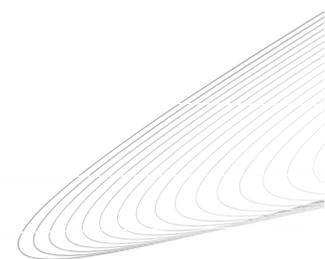


Tabla 7. Tecnologías convencionales de potabilización de agua y sus limitaciones

	Tecnología	Aplicación	Manejo	Costo	Limitantes
Filtración Convencional	Filtros de arena	Sedimentos suspendidos, remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en Infraestructura y de manejo, costo elevado de terreno	Remoción de 80 – 90 % de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie
	Filtros de tierras diatomáceas (diatomita)	Remoción de turbiedad y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión y de manejo	Útiles en casos de poca turbiedad y bajos conteos bacterianos, no retiene materia orgánica.
	Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión, costo medio de mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro, no remueve nitratos.
Desinfección	Cloro	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo bajo de inversión y medio de mantenimiento	Generación de subproductos

Fuente: (Leal, 2005, p. 71)

4.1 PROPUESTAS ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta procesos de potabilización del agua y con base en sus limitantes, es importante destacar los posibles tratamientos no convencionales que permitan ser más eficientes y donde la salud del ser humano no se vea afectada. La radiación UV es un método no tradicional usado para la desinfección del agua y así reducir la carga bacteriana que presenta el agua. En especial la *Escherichia Coli*, coliformes totales y mesófilos, donde se logra la eliminación de las bacterias en un tiempo mayor a 300 s con una dosis de 9.352,8 m WS/cm² (Acosta-Castellano et al., 2014). Este proceso permitiría en esta fuente disminuir o eliminar la bacteria de coliformes totales, debido a que este parámetro se presenta como muy deficiente, disminuyendo la calidad del agua con valores de 410 y 820 UFC/100cm².

Otros métodos como los coagulantes naturales o no convencionales han tenido un alto impacto en la potabilización del agua. En las PTAP (Plantas de tratamiento de agua potable), se usan coagulantes o polímeros sintéticos como a) Sulfato de aluminio, b) Aluminato de sodio, c) Cloruro de aluminio, d) Cloruro férrico, e) Sulfato férrico, f) Sulfato ferroso (Ramírez Arcila y Jaramillo Peralta, 2016). Estos polímeros sintéticos están conformados algunos por el aluminio, que se asocia a enfermedades con afectaciones gástricas y con la fibrosis pulmonar (Rodolfo Trejo Vázquez, 2004). El Alzheimer es una enfermedad que está más asociada a la ingesta del aluminio,

debido a que estudios han reportado que personas que padecieron de esta enfermedad, presentaban altas cantidades de aluminio en el cerebro (Perl, 1985). De otro lado, se han encontrado métodos alternativos de coagulantes naturales tales como la Moringa oleífera (el uso de su semilla), el almidón de yuca, el cactus, habas molidas y algunas algas marinas rojas. Estos coagulantes naturales presentan buen rendimiento al usarse en aguas de baja turbidez (Perico-Granados, 2012).

Los coagulantes no convencionales presentan un pre-tratamiento para su debido uso en la potabilización del agua. Ellos serían efectivos para la fuente que se trata, ya que el parámetro que define su efectividad es la turbidez. Esta se encuentra con valores de 6.3 y 12.30 UNT y estos coagulantes no convencionales fueron aplicados a aguas con niveles de turbidez de 40 UNT (Fuentes Molina, Molina Rodríguez, y Ariza, 2016). Por otro lado, se presentan procesos de pre-tratamiento que permiten, por medio de procesos naturales (plantas), el balance de unos parámetros del agua, antes de que esta sea captada. Las especies usadas para este proceso permiten la eliminación de sólidos suspendidos, ya que se da la decantación de estos y la eliminación de materia orgánica, debido a que la planta actúa como un sistema de aireación para el sustrato, suministrando oxígeno a las bacterias a través de los canales de aireación. Así se presenta un proceso aeróbico, las raíces pueden absorber compuestos orgánicos como los fenoles y se da, de igual manera, la eliminación del nitrógeno, fósforo y microorganismos patógenos (Martínez, 1989).

Las plantas más usadas en estos procesos de Fitodepuración o Fitorremediación son: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum* y *Eichhornia Crassipes*. Ellos permiten que parámetros como DBO, DQO, cloruros, Coliformes totales, amonio y nitritos, tengan un descenso entre el 2 al 70 % de su carga (Palta y Morales, 2013). De esta manera, la fitodepuración permite para este caso la disminución notable de parámetros deficientes como los coliformes totales, DQO,

DBO y el hierro total que en ambas muestras se muestra como deficiente, ya que está superior a los valores máximos admisibles por el RAS. De otro lado, se encontró que en la quebrada la Pinocha, con muestras analizadas en laboratorios certificados, el nivel de metales pesados disminuyó en un 70 % y los coliformes totales en un 80 % (Araque-Niño, et al, 2018a).

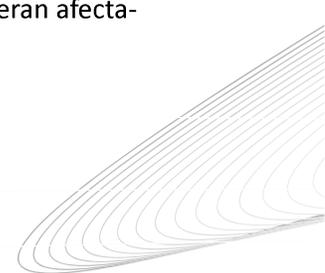
5. CONCLUSIONES

Se presenta en las muestras que la turbiedad excede más de 6 veces la permitida. En unos casos el hierro total excede hasta 10 veces lo establecido por la norma (0.3 mg/l). Por tanto, se requiere un proceso de coagulación y es necesario un tratamiento que elimine los excesos para que sea potable.

En ambas muestras el exceso de coliformes totales es muy alto con resultados de 820 UFC/100 cm³. Para este aspecto se puede usar el tratamiento no convencional con rayos UV para evitar el uso de coagulantes polímeros (sulfato de aluminio) debido a su asociación con enfermedades como el Alzheimer.

Los procesos no convencionales permiten que los procesos de potabilización de agua sean innovadores y que se logre el objetivo principal que es el proporcionar agua potable a la comunidad. La Fitorremediación es un pre- tratamiento que se le podría aplicar a la fuente de estudio, dado que unos parámetros de calidad del agua analizada se muestran estables. Este se aplicaría aguas arriba con plantas como el buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*).

Se ha encontrado reiteradamente que el Alzheimer está relacionado con sustancias químicas como el sulfato de aluminio. Entonces, se recomienda utilizar coagulantes naturales como las habas molidas y/o las semillas de Moringa, que no generan afectaciones a la salud.



Los filtros son importantes en el proceso de tratamiento convencional, y con un pre-tratamiento por medio de la Fitorremediación, se daría la eliminación o captación de los microorganismos y metales de forma rápida para que el agua potable sea de la mejor calidad.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a los Ingenieros Paula Andrea Suárez Alvarado y Cristian Felipe Sánchez Sánchez por sus aportes, especialmente en la presentación del sitio y a unas personas de la comunidad, pues facilitó la interacción con ella.

7. REFERENCIAS

- A, P.-F., M, C., y F, M. (2003). Tecnología para el Desarrollo Humano. Agua e Infraestructura. España. Recuperado a partir de: http://www.uclm.es/profesorado/igarrido/tecnocooperacion/libro_agua_infra_APF_MC_FM.pdf
- Acosta-Castellano, P. M., Caro Camargo, C. A., y Perico-Granados, N. R. (2014). Análisis de interferencia de parámetros físicos del agua, en desinfección por radiación UV. *Revista de Tecnología*, ISSN 1692-1399, Vol. 14, No. 2, 2015 (Ejemplar dedicado a: Energías Renovables), 14(2), 105-112. Recuperado a partir de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041485>
- Agency, U. S. E. P. (2000). Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, (September). Recuperado a partir de <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30004TBD.PDF?Dockey=30004TBD.PDF>
- Amatriain, M. (2000). Efectos del exceso de hierro. *Medicina Naturista*, 2, 92-95.
- Araque-Niño, I., Britto-Aponte, M., Cuéllar-Rodríguez, L., Perico-Granados, N. (2018a). Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo. Caso: Tierra Negra, Boyacá, Tecnología, <https://doi.org/10.18270/rt.v17i1.2950> en: <https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/2950>
- Araque-Niño, I., Britto-Aponte, M., Cuéllar, L., Perico-Granados, N. (2018b). Diagnóstico y propuesta de fitorremediación para el tratamiento de aguas residuales, sector tierra negra. *L'esprit Ingénieur*, 9(1), 132-140. En: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieur/article/view/1849>
- Arboleda Valencia, J. (1992). Teoría de la Coagulación del Agua. Teoría y práctica de la purificación del agua, 793.
- Carlos, J., y Moreno, B. (2015). Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia 2013, 2015, 3-200. <https://doi.org/2322-9497>
- Carrillo, E., y Lozano, A. (2008). Validación del metodo de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar chromocult. Pontificia Universidad Javeriana. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado a partir de: <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis203.pdf%0Ahttp://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis203.pdf>
- Castillo, J., y Gómez, G. (2011). Procesos de Tratamientos de Aguas. Coagulación y Floculación. Recuperado 3 de septiembre de 2018, a partir de: <https://es.slideshare.net/guillermo150782/coagulacion-y-floculacion>
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., y Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel

- global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Catalunya, A. C. del A. y G. de. (2000). Estudi de caracterització i prospectiva de les demandes d'aigua a les conques internes de Catalunya i a les conques catalanes de l'ebre. Departament de Medi Ambient.
- Chaparro, F., y Ovalles, C. (2017). Análisis del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano - IRCA y su relación con el clima y ubicación geográfica para el departamento del Meta en los años 2012-2013. Universidad de la Salle.
- CORPOBOYACÁ. (2009). Implementación tasas retributivas por vertimientos puntuales determinación de la meta global de descontaminación. Recuperado a partir de: http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/INFOME_EJECUTIVO1212.pdf
- EPM, (Empresas Públicas de Medellín). (s. f.). Preguntas frecuentes sobre la calidad del agua en los sistemas operados por aguas regionales EPM S.A. E.S.P. epm, 1-19. Recuperado a partir de: www.grupo-epm.com/site/portals/23/.../ABC-Calidad de Agua.pdf
- Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J., y Ariza, C. P. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41-54. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>
- González, M., y Niño, K. (2006). Alternativas de mejoramiento de la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento para la optimización de las plantas de potabilización de los municipios pertenecientes a la cuenca UBATÉ. Universidad de la Salle.
- Grisales, D. (2009). *Sistemas No Convencionales de Tratamiento de Aguas Superficiales para Comunidades de Desplazados en Estado de Emergencia (Caso Villa-Clarín)*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Guardián, R., y Coto, J. (2010). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación floculación de aguas residuales, 24, 18-26.
- Guayara, L., Moreno, M., y Herrera, M. (2010). Estudio comparativo de la calidad del agua de las bocatomas El Nogal y El Mesón del acueducto veredal AGUANATOLÍ, para la formulación del Plan de Manejo del Recurso para su potabilización. Vereda Anatolí, La Mesa - Cundinamarca. *Revista Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina*, Vol.2 No.1, 11-12. Recuperado a partir de: <http://www.umng.edu.co/web/ingenieria-neogranadina/revista-volumen-2-n-1>
- Hernández, E. J., y Corredor, C. A. (2017). Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua, se dispondrá en el laboratorio de aguas de la Universidad Católica de Colombia. Universidad Católica de Colombia. Recuperado a partir de: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14556/1/Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua.pdf>
- IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua: Información para la toma de decisiones Rendición de cuentas - noticias - IDEAM. Recuperado 9 de septiembre de 2018, a partir de: http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones

- IDEAM (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, M. Y. E. A. D. C. (2001). Perfil del Estado de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente en Colombia 2001. (C. Castaño, R. Carrillo, y F. Salazar, Eds.) (Tomo 3). Colombia: Trade Link Ltda. Recuperado a partir de documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/002592/TOMO3-PERFIL.pdf%0A%0A
- Leal, M. (2005). Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. Escuela de Posgrados, UNSAM, Buenos Aires, 63-72. Recuperado a partir de: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Tecnolog?as+convencionales+de+tratamiento+de+agua+y+sus+limitaciones#0>
- Leguizamó, A. (2013). Determinación de los impactos ambientales del turismo en la ciudad de Paipa (Boyacá). Universidad de Manizales.
- Londoño, L., Londoño, P., y Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Martínez, M. (1989). Depuración de Aguas con Plantas Emergentes. Hojas divulgadoras. Recuperado a partir de: http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_16.pdf
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2010). Título B. Sistemas de Acueducto. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Recuperado a partir de: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TituloB_030714.pdf
- Ministerio de Salud y Protección Social -MINSALUD-. (2016). Informe Nacional de la Calidad del Agua para Consumo Humano INCA 2015. Ministerio de Salud. Bogotá, D.C.
- Monforte, G., y Cantú, P. (2009). Escenario del Agua en México. *Cultura Científica y Tecnológica*, (30), 31-40. Recuperado a partir de: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C., y Escobar, J. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Revista EIA*, 8(16), 137-148. <https://doi.org/10.5872/psiencia/3.1.21>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2006). Guías para la calidad del agua potable. OMS (Organización Mundial de la Salud), 1, 14. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)
- Palta, G., y Morales, S. (2013). Fitodepuración de aguas residuales domésticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 57-65. Recuperado a partir de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a07.pdf>
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 3. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Perico-Granados, N. (2012). Ingeniería Civil Semillero El Espíritu del Ingenio. Coagulante natural con base en habas molidas. (T. Universidad Santo Tomás, Ed.) (Primera ed). Tunja. Recuperado a partir de: http://www.ustatunja.edu.co/site/images/01-USTATunja/05-USTA-Tunja-ProgramasAcademicos/Pregrado/IngenieriaCivil/2017/Documentos/Semillero_el_Espiritu_del_Ingenio.pdf

- Perico-Granados, N. y Perico-Martínez, N. (2014). Los Ingenieros docentes y el medio ambiente, en *L'esprit Ingenieux*, No. 5 pp. 54-63. En: <http://www.ustatunja.edu.co/cong/images/Articulos/-LOS%20INGENIEROS%20DOCENTES%20Y%20EL%20MEDIO%20AMBIENTE.pdf>
- Perico-Granados, N., Garavito, L., y Suárez, P. (2014). Pedagogía y diagnóstico sobre la variación de la cobertura vegetal, 1985-2011, para Boyacá. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, 1-14. En: <http://www.ustatunja.edu.co/cong/images/Articulos/-PEDAGOGIA%20Y%20DIAGNOSTICO%20SOBRE%20LA%20VARIACION%20DE%20LA%20COBERTURA%20VEGETAL%201985%202011%20PARA%20BOYACA.pdf>
- Perico-Granados, N., Caro, C., y Garavito, L. (2015). El proyecto en la investigación formativa. In *vestigium Ire*, 9(1), 166-174. Recuperado a partir de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ivestigium/article/view/1156/1122>
- Perico-Granados, N. R., Montaña, A. F., Uricoechea, M. J., Vargas, M. A., y Arévalo Algarra, H. (2021). Propuesta alternativa de coagulantes naturales. *L'esprit Ingénieux*, 10(1), 127-142. Recuperado a partir de: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/2125>
- Perico-Granados, N., Galarza, E., Díaz-Ochoa, M., Arévalo-Algarra, H., Perico-Martínez, N. (2020). GUÍA PRÁCTICA DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA: Apoyo a la formación de docentes y estudiantes, Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO, En: https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/10822/Libro_Gu%C3%ADa%20practica%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20ingenier%C3%ADa_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Perl, D. (1985). Relationship of aluminum to Alzheimer's disease. *Environmental Health Perspectives*, VOL. 63(7), 149-153. <https://doi.org/10.1289/ehp.8563149>
- Pineda Buitrago, L. L. (2017). Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de Tunja – Boyacá, 1-76.
- Ramírez Arcila, H., y Jaramillo Peralta, J. (2016). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Rock, C., y Rivera, B. (2014). Calidad del Agua, E. Coli y su Salud. College of Agriculture and Life Sciences, (March). Recuperado de <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- Rodolfo Trejo Vázquez, V. H. M. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua. *Conciencia Tecnológica*, 25, 3.
- Romero, J. (1999). Potabilización del agua. (J. A. R. Rojas, Ed.) (3 Edición). México D.F.: Alfaomega, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (2009). Calidad del agua. (J. A. R. Rojas, Ed.) (3 Edición). Bogotá, D.C. Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieros.
- Salamanca, E. (2016). Procesos de Tratamiento de Aguas para el Consumo Humano. Universidad de Manizales. Manizales, 17(1), 29-48.
- Sawyer, C., McCarty, P., y Parkin, G. (2001). Química para Ingeniería Ambiental. Recuperado 7 de octubre de 2018,

a partir de: <https://es.scribd.com/doc/299958829/Quimica-Para-Ingenieria-Ambiental-Sawyer>

Soto, Z., Pérez, L., y Estrada, D. (2016). Bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos: una mirada en Colombia. *Barranquilla (Col.)*, 32(1), 105-122. <https://doi.org/10.14482/sun.32.1.8598>

Toxqui, L., De Piero, A., Courtois, V., Bastida, S., Sánchez-Muniz, F. J., y Vaquero, M. P. (2010). Deficiencia y sobrecarga de hierro; implicaciones en el estado oxidativo y la salud cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 25(3), 350-365. <https://doi.org/10.3305/nh.2010.25.3.4583>

UNESCO-WWAP. (2003). Agua para todos, agua para la vida. United Nations. Recuperado a partir de <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>