

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL
AGUA DEL MUNICIPIO DE TURBACO – BOLÍVAR, CARIBE COLOMBIANO**

**ANA KARINA PETRO NIEBLES
TATIANA DEL CARMEN WEES MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
CARTAGENA DE INDIAS
2014**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL
AGUA DEL MUNICIPIO DE TURBACO – BOLÍVAR, CARIBE COLOMBIANO**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN
GRUPO DE SISTEMAS AMBIENTALES E HIDRAULICOS (GISAH)**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
BIOSISTEMAS INTEGRADOS**

**DIRECTOR
CARLOS ALBERTO SEVERICHE SIERRA, M.Sc.**

**COINVESTIGADORES (AUTORES)
ANA KARINA PETRO NIEBLES
TATIANA DEL CARMEN WEES MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
CARTAGENA DE INDIAS
2014**

CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUCCIÓN.....	9
2 MARCO TEÓRICO	11
2.1 Calidad del Agua	11
2.2 Características Fisicoquímicas	12
2.2.1 pH	12
2.2.2 Turbiedad	12
2.2.3 Conductividad	13
2.2.4 Alcalinidad	14
2.2.5 Dureza Total y Dureza Cálctica	14
2.2.6 Sulfatos	15
2.2.7 Cloruros	16
2.2.8 Acidez	17
2.2.9 Cloro libre	17
2.2.10 Hierro	18
2.2.11 Fosfato	19
2.2.12 Nitrito y Nitrato	19
2.2.13 Aluminio	20
2.2.14 Amonio	21
2.2.15 Color	21
2.2.16 Materia Orgánica	22
2.2.17 Fluoruros	23
2.3 Características Microbiológicas	23

2.3.1	<i>Escherichia coli</i>	23
2.3.2	Coliformes Totales	24
2.4	Normatividad Vigente.....	25
3	ESTADO DEL ARTE Y ANTECEDENTES.....	29
3.1	Calidad del Agua.....	29
3.2	Características Físicoquímicas	32
3.3	Características Microbiológicas	34
4	OBJETIVOS	38
4.1	Objetivo General.....	38
4.2	Objetivos Específicos	38
5	METODOLOGÍA	39
5.1	Área de Estudio	39
5.2	Fase de Muestreo.....	44
5.2.1	Toma de muestra para análisis físico-químico.....	44
5.2.2	Toma de muestra para análisis microbiológico	45
5.2.3	Transporte de la muestras	46
5.3	Fase de Laboratorio	46
5.3.1	Análisis Físicoquímicos de muestras de agua potable	46
5.3.2	Análisis Microbiológico de muestras de agua potable.....	48
5.4	Tratamiento Estadístico.....	49
6	RESULTADOS.....	51
7	CONCLUSIONES	72
8	RECOMENDACIONES.....	77
9	REFERENCIAS	79
10	ANEXOS	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de dureza presente en el agua.

Tabla 2. Características físicas

Tabla 3. Características químicas que tienen implicaciones en la salud humana

Tabla 4. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

Tabla 5. Características microbiológicas

Tabla 6. Características geográficas de Turbaco

Tabla 7. División de barrios por comunas del municipio de Turbaco

Tabla 8. Parámetros y métodos de muestreo usados en el laboratorio

Tabla 9. Parámetros físicos básicos del agua potable determinados por el Decreto 1575/2007

Tabla 10. Parámetros microbiológicos básicos del agua potable determinados por el Decreto 1575/2007

Tabla 11. Sitios de muestreo, convenciones y coordenadas

Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos básicos por estaciones

Tabla 13. Parámetros fisicoquímicos por análisis colorimétricos

Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos volumétricos

Tabla 15. Relaciones de alcalinidad

Tabla 16. Resultados por estación VS valores máximos aceptables para parámetros fisicoquímicos

Tabla 17. Resultados por estación VS valores máximos aceptables para parámetros microbiológicos

Tabla 18. Diagnósticos que se han presentado en el periodo 2013-2014

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa ilustrativo de Turbaco (Bolívar), resaltando a la derecha los puntos muestreados.

Figura 2. Parámetros Físicoquímicos Básicos: (a) Comportamiento del pH, (b) Variación espacial de la Turbidez, (c) Variación de la conductividad en las estaciones muestreadas, (d) Comportamiento del color por estaciones.

Figura 3. Parámetros por análisis colorimétrico: (a) Comportamiento de los nitratos, (b) Variación espacial de los nitritos.

Figura 4. Parámetros por análisis colorimétrico: Variación de amonio en las estaciones muestreadas.

Figura 5. Parámetros físicoquímicos volumétricos: (a) Comportamiento de la alcalinidad, (b) Variación espacial de la dureza total.

Figura 6. Parámetros físicoquímicos volumétricos: (a) Variación de la acidez en las estaciones muestreadas, (b) Comportamiento de los cloruros por estaciones.

Figura 7. Variación del aluminio en las diferentes estaciones.

Figura 8. Variación del Hierro en las diferentes estaciones.

Figura 9. Variación del Fosfato en las diferentes estaciones.

Figura 10. Variación del Fluoruros en las diferentes estaciones.

Figura 11. Variación de los sulfatos en las estaciones de muestreo.

Figura 12. Variación del cloro libre en las estaciones de muestreo.

Figura 13. Variación microbiológica del agua en las estaciones de muestreo: (a) variación de coliformes totales, (b) variación de coliformes fecales

Figura 14. Enfermedades asociadas al agua que se han presentado en menor proporción.

Figura 15. Enfermedades asociadas al agua que se han presentado en mayor proporción.

RESUMEN

El objetivo del trabajo presentado fue evaluar la calidad fisicoquímica y microbiología del agua consumida en el municipio de Turbaco. Se tomaron muestras en nueve (9) puntos, analizándose parámetros in situ y una posterior fase de laboratorio, seguidamente de una comparación con la normatividad vigente. Los resultados fisicoquímicos mostraron una turbiedad de 1.049 UNT, promedio de $102.022 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ de dureza total, el análisis microbiológico reveló que los coliformes totales variaron de 10 a $30 \text{ UFC}/100 \text{ cm}^3$ y el punto con mayor coliformes fecales fue $21 \text{ UFC}/100 \text{ cm}^3$. Basado en los resultados del estudio, se concluye que, la calidad de agua en términos fisicoquímicos está por encima de los valores establecidos en la normatividad Colombiana, en la mayoría de los puntos de muestreos escogidos, siendo la ausencia de cloro residual libre la mayor preocupación y posible deficiencia en el sistema de tratamiento. Lo anterior guarda cierta relación con el incumplimiento del parámetro microbiológico coliformes totales presentes en algunas estaciones.

Palabras Clave: calidad del agua, cloro residual, coliformes totales, laboratorio, saneamiento básico.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the physicochemical and microbiological quality of the water consumed in the municipality of Turbaco. Samples in nine (9) points were taken and analyzed in situ parameters later laboratory phase, followed by a comparison with current regulations. Physicochemical results showed a turbidity of 1049 NTU, average 102.022 *mg* CaCO₃/ L of total hardness, microbiological analysis revealed total coliforms ranged from 10 to 30 *CFU/100 cm*³ and more fecal coliforms point was 21 *CFU/100 cm*³. Based on the study results, it is concluded that the quality of water in physicochemical terms is above the values established in the Colombian regulations, in most sampling points chosen, with the absence of free residual chlorine greater concern and possible deficiencies in the treatment system. This bears some relation to the breach of microbiological parameter total coliforms present in some seasons.

Keywords: water quality, residual chlorine, total coliform, lab, basic sanitation.

1 INTRODUCCIÓN

La ausencia de la actividad antrópica permite que la calidad del agua sea determinada por condiciones del ambiente mismo, tales como la erosión del sustrato mineral, los procesos atmosféricos, la sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por factores hidrológicos y los procesos biológicos que puedan alterar física o químicamente el preciado líquido (Romero et al., 2010; Hernández et al., 2011). Además de la incidencia de estos factores, el agua ha sido intervenida por la acción humana, generando un deterioro asociado directamente a dichas actividades; según la organización de las naciones unidas (ONU) este deterioro se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial por el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones del ciclo hidrológico; esta misma organización alude que a nivel global el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización (Álvarez et al., 2008; ONU-DAES, 2014).

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua bajo los estándares de calidad; de manera puntual para el agua potable, se establecen normas con el fin de asegurar y garantizar el suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y de este modo velar por la salud pública y la salud ambiental. Usualmente este tipo de normas se basan en un rango de niveles científicamente tolerables para los seres vivos, principalmente los seres humanos y organismos acuáticos (Torres et al., 2009; Latorre et al., 2010). En Colombia se establece la resolución número 2115 del año 2007 por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos, y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano; estableciendo los valores máximos aceptables para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que finalmente determinan la calidad del agua (Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

La cantidad de agua se ve afectada directamente por la falta o muy baja calidad de este recurso, ya que el agua contaminada no aprovechable para consumo, baño, industrias o agricultura (por obvias razones, no cumple con las directrices o estándares de calidad) reduce en gran manera la cantidad de agua disponible en un área específica. Por tanto para el consumo humano se ha utilizado las fuentes más cercanas y en mejores condiciones para ser captadas y posteriormente potabilizadas, cuyo fin es suministrarla mediante una red de acueducto a la comunidad (Rodriguez et al., 2003; Arango et al., 2008; Jimenez & Galizia, 2012).

En el caso de la comunidad que habita el casco urbano del municipio de Turbaco, Bolívar, se ha identificado que a pesar de contar con fuentes de captaciones cercanas, a 24.6 kilómetros de distancia, de las que se abastecen municipios y ciudades aledañas, esta población no cuenta con una distribución constante de agua potable, lo que genera que se construyan depósitos de almacenamientos tales como aljibes, albercas, tanques elevados, etc., generando condiciones óptimas donde intervienen proceso biológicos que pueden alterar las características físicas y químicas del agua; o en su defecto se adquiera el agua de escorrentías por agua lluvia, pozos entre otras, para satisfacer las necesidades básicas (Acevedo et al., 2014).

Debido a la necesidad de comprobar si el agua consumida en el municipio de Turbaco, Bolívar, es apta o no para el consumo humano y está de acuerdo a la normatividad vigente, se realizó un muestreo en nueve (9) puntos representativos de la zona urbana de este municipio, en los cuales se evaluó la calidad fisicoquímica y microbiológica mediante análisis in situ, de laboratorio y herramientas de gestión ambiental.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Calidad del Agua

Desde el punto de vista administrativo, la calidad del agua se define por su uso final deseado. En consecuencia, el agua para la recreación, la pesca, para beber y para el hábitat de organismos acuáticos requiere altos niveles de pureza, mientras que para la producción de energía hidroeléctrica, las normas de calidad son mucho menos importantes. Por esta razón, la definición que se puede dar de calidad del agua llega a ser amplia; según Cepe, 1995, citado por Cutimbo, 2012, la calidad del agua hace referencia a las “características físicas, químicas y biológicas del agua necesaria para sostener los usos deseados” Es importante señalar que, después de ser utilizada, el agua suele regresar al sistema hidrológico y, si no es tratada, puede afectar gravemente al medio ambiente (Mendoza, 2007; Rivera et al., 2009; Cutimbo, 2012).

El control de la potabilidad y calidad es sumamente importante si se tiene en cuenta que el agua es un importante vehículo de transmisión de enfermedades por contaminación microbiológica producida por patógenos intestinales: bacterias, virus, protozoos, helmintos; o por contaminación fisicoquímica debido a la aparición de sustancias no deseables o que siendo elementos de la composición habitual del agua superan la Concentración Máxima Admisible (CMA) (Rodríguez et al., 2003).

Los aspectos biológicos han adquirido una creciente importancia en el estudio de los sistemas acuáticos, debido a que las variables físicas y químicas no determinan con precisión la calidad de las aguas y sólo dan una idea específica sobre ella (Arango et al., 2008).

2.2 Características Fisicoquímicas

2.2.1 pH

La determinación del potencial de hidrógeno (pH) en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o de su alcalinidad. Un pH menor de 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor de 7.0 muestra una tendencia hacia lo alcalino. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. El valor del pH en el agua, es utilizado cuando nos interesa conocer su tendencia corrosiva o incrustante (Mejía, 2005; Trujillo et al., 2008).

Un pH bajo también puede permitir a los elementos tóxicos y compuestos ser más móviles y disponibles para ser tomados por los organismos y plantas acuáticas. Esto puede producir condiciones que son tóxicas para la vida acuática, particularmente para las especies sensibles (Yan et al., 2007; Minaverri, 2014).

2.2.2 Turbiedad

La turbiedad mide el nivel de transmitancia de luz en el agua, y sirve como una medida de la calidad del agua en relación a materia suspendida coloidal y residual. En términos generales, no hay relación entre turbidez y concentración de sólidos suspendidos. La turbiedad varía de acuerdo a: i) la fuente de luz y el método de medición, ii) las propiedades de absorción de luz del material suspendido. Esto hace que se deba tener mucho cuidado al comparar valores de turbiedad de distintas referencias de la literatura. Sin embargo, en un mismo proceso o sistema los valores de turbiedad permiten analizarlo y controlarlo. En Colombia, generalmente se usa el método nefelométrico-2130 para medir la turbiedad. Este método permite comparar valores de

distintas referencias de la literatura siempre y cuando se aplique con rigurosidad (Trujillo et al., 2014).

La turbiedad ha sido una característica ampliamente aplicada como criterio de calidad de agua, tanto en las fuentes de abastecimiento como en los procesos de potabilización y sistemas de distribución, ya que es una medición rápida, económica y de fácil interpretación para los operadores. Kawamura (2000) recomienda presedimentación para turbiedades del agua cruda superiores a 1000 UNT y establece 3000 UNT como valor máximo de turbiedad para tratamiento convencional (Montoya et al., 2011).

2.2.3 Conductividad

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. El agua pura prácticamente no conduce electricidad; por lo tanto la conductividad que se puede medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. El instrumento para medir la conductividad se llama conductivímetro, básicamente lo que hace es medir la resistencia al paso de la corriente entre dos electrodos que se introducen en el agua, y se compara para su calibrado con una solución tampón de ClK a la misma temperatura y 20°C (Ormaza, 2011).

El agua pura es un mal conductor de la electricidad pero cuando tiene sales disueltas puede conducirla en forma proporcional a la cantidad de sales presentes. Este concepto se usa para la medición de la salinidad en términos de conductividad eléctrica la cual se expresa en Siemens/metro ($S.m^{-1}$) (García, 2012).

La medida de la conductividad es una buena forma de control de calidad de un agua, siempre que: 1. No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables. 2. Las mediciones se realizan a la misma temperatura. 3. La composición del agua se mantenga relativamente constante (Ros, 2011).

2.2.4 Alcalinidad

Según Glynn, Heinke 2000, citado por Castillo y colaboradores en 2009, la alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos, esta capacidad debe definirse para ciertos rangos de pH. Así la alcalinidad total (TAC “grado alcalímetro completo”) mide la capacidad de neutralización hasta $\text{pH} = 4.5$ y la alcalinidad a la fenolftaleína (TA “grado alcalímetro”) hasta $\text{pH} = 8.3$. En la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones carbonato y bicarbonato aunque, en ocasiones, otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos pueden contribuir de forma notable al desarrollo de esta propiedad (Castillo et al., 2009).

Contribuyen a la alcalinidad los iones bicarbonato, HCO_3^- , carbonato, $\text{CO}_3^{=}$ y oxhidrilo, OH^- , pero también los fosfatos y ácidos de carácter débil. Se mide por titulación con una solución valorada de un alcalino un ácido según sea el caso y estos dependen de la concentración de los iones hidroxilos (OH^-), carbonato ($\text{CO}_3^{=}$) y bicarbonato (HCO_3^-). Cuando la alcalinidad es menor de 10 ppm es recomendada para el uso doméstico. Se corrige por descarbonatación con cal; tratamiento con ácido o desmineralización por intercambio iónico (Pinos et al., 2011).

2.2.5 Dureza Total y Dureza Cálctica

Se entiende por dureza total, a la suma de carbonatos de calcio y magnesio presentes en el agua. De acuerdo a la clasificación proporcionada por la organización mundial de la salud (OMS) y la

agencia de protección ambiental (EPA) citado por Rodas en 2010, se clasifican como aguas duras la que se encuentra dentro del rango de 150 a 300 mg/L de carbonato de calcio y magnesio; y agua muy duras la que están por encima de 300 mg/L (Rodas, 2010).

Aunque la dureza es causada por cationes, es con frecuencia discutida en términos de dureza de carbonato y no-carbonato. La dureza de carbonato y bicarbonato puede ser removida o precipitada de la solución por calentamiento. La dureza de no-carbonatos es causada por la asociación de los cationes con sulfatos, cloruros y nitratos. También se le conoce como dureza permanente porque no puede ser removida por calentamiento (Baccaro et al., 2006).

En el agua se pueden determinar diferentes tipos de dureza:

Tabla 1. Tipos de dureza presente en el agua.

Tipos de Durezas	
Dureza total	Contenido en calcio y magnesio.
Dureza permanente	Contenido en calcio y magnesio en forma de sulfatos, cloruros y nitratos. Dureza que persiste tras la ebullición del agua.
Dureza temporal o carbonatada	Contenido en calcio y magnesio en forma de carbonatos y bicarbonatos. Resulta de la diferencia de restar la dureza permanente a la dureza total.
Dureza cálcica	Contenido en calcio.
Dureza magnésica	Contenido en magnesio.

Nota Fuente: Molinero, 2009.

2.2.6 Sulfatos

Los sulfatos en el agua pueden tener su origen en el contacto de ella, con terrenos ricos en yesos, así como por la contaminación con aguas residuales industriales; el contenido de estos no suele

presentar problemas de potabilidad en las aguas de consumo humano, pero contenidos superiores a 300 mg/L pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños. Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de consumo (Severiche & González, 2012).

Los sulfatos son minerales cuya unidad estructural fundamental son los grupos $(SO_4)^{-2}$, pudiendo estar enlazados entre sí por cationes de aluminio, sodio, calcio, potasio, magnesio y hierro. Son bastante comunes en la corteza terrestre y entre ellos destaca la anhidrita y el yeso (Moreno et al., s.f.).

2.2.7 Cloruros

Según el Iowa Department of Natural Resources, 2009, citado por García y sus colaboradores. El cloro (Cl_2) es usualmente utilizado como desinfectante, sin embargo en combinación con un metal, como el sodio (Na), es esencial para la vida, dado que, pequeñas cantidades de cloruros son requeridas para la función celular en los seres vivos. El cloruro, en forma de ion Cl^- , procede de fuentes naturales, aguas residuales y vertidos industriales (García et al., s.f.).

El cloro existe en forma de cloruros (Cl^-) en todas las aguas naturales. Cuando alcanza altas concentraciones es tóxico para algunas plantas. Todos los cloruros comunes son solubles y aumentan el contenido total de sales (salinidad) de los suelos (Palacio et al., 2011).

Tienen la capacidad de proveer al agua un sabor salado y depende de la composición química del agua, si el catión presente en el agua que acompaña al cloruro es sodio, se presenta un sabor salado con una concentración de 250 mg/L, en cambio, si el catión predominante es el calcio y el magnesio el sabor puede estar ausente hasta concentraciones de 1000 mg/L. El ión cloruro en

exceso en el agua afecta el crecimiento vegetal, también puede dañar estructuras metálicas y conducciones, además limita el uso del agua en actividades industriales y alimenticias (Panno et al., 2006).

2.2.8 Acidez

Es la cantidad de iones hidronio (H_3O^+) en la muestra acuosa y se determina como la capacidad cuantitativa de una muestra de agua para reaccionar con una base fuerte hasta un pH de 8.3. La acidez se refiere a la presencia de sustancias disociables en agua y que como producto de disociación generan el ion hidronio (H_3O^+), como son los ácidos fuertes, ácidos débiles y de fuerza media; también la presencia de ciertos cationes metálicos como el Fe (III) y el Al (III) contribuyen a la acidez del medio (NMO, 2001).

En muchas aguas naturales, que se usan para propósitos potables, existe un equilibrio entre carbonato, bicarbonato y dióxido de carbono. Los contaminantes ácidos que entran a los abastecimientos de aguas en cantidad suficiente, pueden alterar el equilibrio carbonato - bicarbonato - dióxido de carbono y se pueden estimar por titulación con un álcali valorado a los virajes de pH de 3.7 y 8.3. Los iones hidrogeniones presentes en una muestra de agua como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan a la adición de un álcali estándar (Severiche et al., 2013).

2.2.9 Cloro libre

El cloro es un producto químico relativamente barato y ampliamente disponible que, cuando se disuelve en agua limpia en cantidad suficiente, destruye la mayoría de los organismos causantes de enfermedades, sin poner en peligro a las personas. Sin embargo, el cloro se consume a medida que los organismos se destruyen. Si se añade suficiente cloro, quedará un poco en el agua luego

de que se eliminen todos los organismos; se le llama cloro libre. El cloro libre permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación (OMS, 2009).

El uso de cloro como desinfectante es un método muy utilizado en todo el mundo para la potabilización de agua, esto se debe a su bajo costo y relativa facilidad de manejo y tiempo residual, sin embargo en la actualidad se ha comprobado la generación de subproductos nocivos para la salud durante el proceso de desinfección, entre los cuales están los trihalometanos que son generados en reacciones secundarias con la materia orgánica y se han comprobado como cancerígenos (Espinosa & González, 2009).

2.2.10 Hierro

El hierro es un metal maleable, de color gris plateado y que presenta propiedades magnéticas. Se encuentra en la naturaleza comúnmente formando parte de otros metales, y rara vez se encuentra en su estado puro. El hierro representa aproximadamente el 5% de la corteza terrestre, siendo de este forma uno de los elementos más abundantes de la naturaleza (SNMPE, 2013).

El hierro es un nutriente esencial en la dieta humana y no posee ningún riesgo en la salud. Sin embargo, altas concentraciones de hierro en el agua puede causar problemas con sedimentos en tuberías, sabor metálico, y problemas estéticos por manchas rojas en accesorios y ropa. El hierro puro es muy reactivo y se corroe rápidamente cuando es expuesto al aire; cuando el agua subterránea contiene hierro disuelto y es traída a la superficie, el hierro reacciona con el oxígeno y es convertido en visibles partículas de herrumbre rojo. En el agua potable es posible que se encuentre hierro si este es disuelto en tuberías de metal (Singler & Bauder, 2013).

2.2.11 Fosfato

El fósforo es uno de los elementos clave necesarios para el crecimiento de las plantas y animales. El fósforo en su forma elemental es muy tóxico y es bioacumulable. Los fosfatos (PO_4) son formados de este elemento. Los fosfatos existen en 3 formas: ortofosfatos, metafosfatos (o polifosfatos) y fosfatos unidos orgánicamente. Cada compuesto contiene fósforo en una fórmula química diferente. La forma de ortofosfatos es producida por procesos naturales y son encontrados en aguas residuales. La forma de polifosfato, es utilizado para tratar aguas en contenedores y en detergentes. En el agua cambia a la forma de ortofosfato (De la Mora et al., 2013).

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador de la productividad primaria de un cuerpo en el agua. En los casos en que constituye el nutriente limitador del crecimiento, la descarga de aguas residuales brutas o tratadas, drenados agrícolas o ciertos residuos industriales a ese cuerpo de agua, puede estimular el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos fotosintéticos en grandes cantidades, lo cual puede alterar el balance de la vida en este medio (Romero, 2002).

2.2.12 Nitrito y Nitrato

Los nitritos son sales o ésteres del ácido nitroso (HNO_2), en los nitritos inorgánicos se encuentra el anión NO_2^- . En la naturaleza los nitritos se forman por oxidación biológica de las aminas y del amoníaco o por reducción del nitrato en condiciones anaeróbicas. Los nitratos son sales o ésteres del ácido nítrico HNO_3 , en los nitratos está presente el anión NO_3^- . El nitrógeno en estado de oxidación +V se encuentra en el centro de un triángulo formado por los tres oxígenos. La estructura es estabilizada por efectos mesoméricos (Marín et al., 2003).

El ión nitrito puede estar presente en las aguas bien como consecuencia de la oxidación del NH_3 o como resultado de la reducción microbiana o no de los nitratos. Su presencia en el agua debe considerarse como un indicio fundado de una posible contaminación reciente y tal vez de la no potabilidad del agua debido a la toxicidad de este ión. No obstante, la sola presencia de nitrito y amonio en el agua subterránea no debe ser considerada como resultado de una contaminación sin analizar las posibles causas de su presencia. Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan, lo que ocurre raramente, bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración en aguas subterráneas no contaminadas raramente excede de 10 mg/L (Fernández & Vázquez, 2006).

2.2.13 Aluminio

El aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre y está localizado fundamentalmente como complejos aluminio-silicato, los cuales liberan fácilmente Al^{3+} , un ion fitotóxico que actúa sobre la acidificación del suelo. En suelos ácidos el aluminio es el elemento que más influye negativamente sobre la producción de las cosechas, afectando más del 40 % de la agricultura mundial. La respuesta de las plantas a la toxicidad por aluminio puede variar, dependiendo del grado de tolerancia que exhiba la especie en cuestión para este metal y de la concentración en que se encuentre este elemento en el medio (Álvarez et al., 2005).

Es un elemento liviano, anticorrosivo, buen conductor térmico. Se establece un límite con el objeto de optimizar el tratamiento de agua. En concentraciones mayores de 0.05 mg/L se puede precipitar en el sistema de distribución. Se le ha asociado con problemas de anorexia, enfermedad de Alzheimer e irritación del tracto intestinal. Su consumo en la dieta diaria es generalmente menor de 10 mg/d. Se usa a menudo en utensilios y artículos de cocina, materiales de construcción y en productos de consumo tales como antiácidos, aditivos para comidas, y desodorantes (Murillo, 2011).

El sulfato de aluminio, se ha venido cuestionando en los últimos tiempos debido, entre otras causas, a la dificultad técnica para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación y su posible relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas (Cogollo, 2011).

2.2.14 Amonio

Es un catión poliatómico cargado positivamente de fórmula química NH_4^+ . Se produce por la reacción del amoníaco, que es una base débil con ácidos de Bronsted (donantes de protones). El ión amonio resulta de la reducción de nitratos u oxidación de materia orgánica, sin embargo, dependiendo del pH del medio, sus concentraciones pueden variar transformándose en amoníaco, lo cual quiere decir, que a pH superiores a 9.2, el amoníaco (NH_3) tiende a incrementar pero el amonio (NH_4^+) disminuye, mientras que a pH menores, el amonio (NH_4^+) se aumenta y el amoníaco disminuye (García, 2013).

El ion amonio es un producto proveniente de la descomposición de residuos orgánicos nitrogenados (proceso de amonificación) o de la fijación biológica. Debido a que dicho ion posee una carga positiva en su composición química, éste puede retenerse en las partículas de arcilla del suelo cuya carga es negativa; por lo que es relativamente inmóvil en el suelo como consecuencia de ello y por lo general no se incorpora al agua subterránea (Fernández, 2005).

2.2.15 Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos

industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficacia del proceso usado para su remoción (Kiely, 2003).

Es la capacidad del agua para absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El agua presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos como el color amarillento debido a los ácidos húmicos. La presencia de hierro puede darle un color rojizo y la del manganeso, un color negro. Se mide en laboratorio por comparación de un estándar arbitrario a base de cloruro de cobalto, Cl_2CO y Cloroplatinato de potasio, K_2PtCl_6 y se expresa en una escala de unidades de Pt-CO (unidad Hazen) o Pt. La eliminación suele hacerse por coagulación- floculación con posterior filtración (disminuyendo a menos de 5 ppm) o la absorción con carbón activado (OMS, 2006).

2.2.16 Materia Orgánica

En un agua residual típica urbana de intensidad media, un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. Proceden de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos (Melcalf & Eddy, 1997; Gómez, 2005; Cerezo, 2011).

Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrogeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos. Otros elementos importantes tales como azufre, fosforo y hierro pueden hallarse también presentes. Los principales grupos de sustancias orgánicas hallados en el agua residual son las proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y grasas y aceites (10%) (Gómez, 2011; Talarico, 2007; Vázquez, 2009).

2.2.17 Fluoruros

El flúor, es el más electronegativo de los elementos químicos conocidos, se encuentra en la litosfera en diversos minerales, como topacio fluorita (CaF_2), fluorapatito ($\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), etc., así como integrante de algunas micas (flogopita). Dada la escasa solubilidad de estas rocas y minerales, la presencia de fluoruro en aguas es minoritaria. La concentración de F^- en aguas naturales no suele superar en valor medio el mg/L, pudiendo ser mucho mayor en zonas volcánicas ricas en rocas fluoradas, y en algunas aguas minerales. Por otro lado los vertimientos residuales procedentes de industrias del vidrio pueden contener habitualmente hasta 100 mg/L (Ayora, 2010).

El flúor (F) es considerado como un elemento traza potencialmente tóxico con algunas funciones bioquímicas indispensables, ya que se requiere para la formación de tejido óseo y para el mantenimiento de la integridad ósea. Existen reportes controversiales sobre el beneficio de los fluoruros en la prevención de caries dental, pues se ha considerado un factor importante en la disminución de su prevalencia. Sin embargo, la excesiva ingestión por periodos prolongados causa toxicidad la cual se manifiesta con la aparición de fluorosis dental, fluorosis esquelética y fracturas de cadera. Recientemente, estudios toxicológicos con animales han asociado daños en los niveles neurológico y reproductivo (Grijalva et al., 2001).

2.3 Características Microbiológicas

2.3.1 *Escherichia coli*

En 1885 Theodore Escherich, un pediatra alemán, describió por primera vez una bacteria encontrada en las heces de neonatos y niños sanos la cual denominó *Bacterium coli commune*. Posteriormente, en 1919 Castellani y Chalmers la denominaron *Escherichia coli* en su homenaje y desde entonces ha sido uno de los seres vivos más estudiados, de hecho gran parte de los

conocimientos sobre la biología celular fueron adquiridos en estudios con este microorganismo (Donnenberg, 2002).

Según el Manual Bergey de bacteriología sistemática son bacterias Gram negativas cilíndricas con 1.1 – 1.5 μm de diámetro por 2.0 – 6.0 μm de largo que se disponen aisladas o en parejas. Conforme a la definición general de la familia Enterobacteriaceae a la que pertenecen, son bacterias quimioheterótrofas facultativas teniendo los metabolismos fermentativo y respiratorio, no forman esporas, están desprovistas de oxidasa, producen catalasa y β -galactosidasa, pueden ser móviles por flagelos peritricos o inmóviles y normalmente reducen nitrato a nitrito (Faleiro, 2009).

El género *Escherichia* comprende cinco especies distintas: *E. coli*, *E. hermanni*, *E. fergusonii*, *E. vulneris* y *E. blattae*. La especie tipo es *E. coli*, además es la única de las cinco con significación clínica. No obstante, *E. hermanni*, y *E. vulneris* han sido involucradas en infecciones de heridas aunque de manera muy ocasional (Blanco et al., 2002).

2.3.2 Coliformes Totales

Son bacterias en forma de bacilos, Gram negativo que pueden crecer en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos. Fermentan la lactosa con producción de ácido y gas en 24 a 48 horas. La mayoría son especies del género de la familia *Enterobacteriaceae*, especialmente representados por los géneros tradicionales: *Escherichia*, *Entrrobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*. Con la taxonomía actual la definición de coliformes involucra a un grupo heterogéneo, que comprende bacterias que pueden encontrarse tanto en heces como en el medio ambiente (suelos, aguas ricas en nutrientes y materia vegetal en descomposición), y también a especies no fecales, excepto el género *Escherichia* que vive solo en organismos como el hombre y animales de sangre caliente (Roldan, 2006).

Las bacterias Coliformes totales son una colección de microorganismos relativamente no dañinos, que viven en gran número en el intestino de los humanos y animales de sangre caliente. Un subgrupo específico de esta colección son las bacterias Coliformes fecales, y dentro de ellas la más común es la *Escherichia coli*. Este organismo se separa del grupo total de Coliformes fecales por su habilidad de crecer a elevadas temperaturas y están asociadas solamente con la materia fecal de animales de sangre caliente (Erdal et al., 2003).

Los coliformes fecales presentan similitudes con los totales en lo que se refiere a morfología, la capacidad de fermentar lactosa, ser aerobios y anaerobios, pero difieren en la capacidad de soportar temperaturas, a diferencia de los totales, los fecales pueden fermentar lactosa con producción de ácido y gas en periodos de incubación de 24 a 48 horas a una temperatura de 44.5 °C en condiciones de laboratorio (Ramos, 2011).

2.4 Normatividad Vigente

El Ministerio de la Protección Social & El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial mediante la Resolución 2115 de 2007, señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano.

Establece los valores máximos aceptables que no podrán sobrepasar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua para el consumo.

En primera instancia se tabularon las características físicas (ver Tabla 2) que establece el capítulo dos de la resolución, haciendo énfasis en los parámetros utilizados; en particular el artículo

cuatro de este mismo capítulo, expresa que el valor máximo aceptable para la conductividad podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona.

Tabla 2. Características físicas

Característica física	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidad de platino Cobalto (UPC)	15.0
Turbiedad	Unidades nefelometrías de turbiedad (UNT)	2.0
Conductividad	Microsiemens/cm	1000.0
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	6.5 a 9.0

Nota Fuente: Ministerio de la Protección Social & El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2007.

Así mismos las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalaron en la Tabla 3.

Tabla 3. Características químicas que tienen implicaciones en la salud humana

Elementos, compuestos químicos, mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresadas como	Valor máximo aceptables (mg/L)
Nitritos	NO_2^-	0.1
Nitratos	NO_3^-	10.0
Fluoruros	F^-	1.0

Nota Fuente: Ministerio de la Protección Social & El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2007.

En cuanto a las características químicas del agua para el consumo en relación con los elementos y compuestos químicos que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana fueron tabuladas únicamente aquellas que se utilizaron en el análisis como lo muestra la Tabla 4.

Tabla 4. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

Elementos, compuestos químicos, mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresadas como	Valor máximo aceptables (mg/L)
Alcalinidad total	$CaCO_3$	200.0
Cloruros	Cl^-	250.0
Aluminio	Al^{3+}	0.2
Dureza total	$CaCO_3$	300.0
Hierro total	Fe	0.3
Sulfatos	SO_4^{2-}	250.0
Fosfatos	PO_4^{3-}	0.5

Nota Fuente: Ministerio de la Protección Social & El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2007.

Además de la evaluación fisicoquímica del agua para consumo humano también es importante para la determinación de la calidad del agua evaluar las características microbiológicas de la misma. En el capítulo tres de la resolución que se ha venido tratando, se establece los estándares relacionados con las características microbiológicas, desglosándolo de acuerdo a la técnica utilizada para realizar análisis microbiológico. Para la *Escherichia coli* y coliformes totales, pueden ser utilizados los métodos de filtración por membrana, sustrato definido, enzima sustrato y presencia – ausencia.

Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 unidad formadora de colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm³ de muestra. En la siguiente tabla se detallaron los valores máximos de acuerdo a la técnica.

Tabla 5. Características microbiológicas

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	<i>Escherichia coli</i>
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima sustrato	<de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismo 100 cm ³	0 microorganismo 100 cm ³
Presencia- ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Nota Fuente: Ministerio de la Protección Social & El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2007.

Adicionalmente el ministerio de protección social decreta algunos aspectos concernientes a la calidad del agua mediante el Decreto 1575 de 2007 por el cual se establece el sistema de protección y control de la calidad del agua para el consumo humano; a través de pautas y recomendaciones dirigidas entre otros a las personas prestadoras del servicio de distribución o suministro de agua para el consumo doméstico.

3 ESTADO DEL ARTE Y ANTECEDENTES

3.1 Calidad del Agua

La calidad del agua siempre ha sido una preocupación para las personas, de mayor interés para aquellas que tienen la obligación o responsabilidad de abastecer a una población por lo cual se han y se siguen realizando estudios al respecto.

En el 2013, Bolaños realizó el estudio de un monitoreo del agua potable que se desarrolló específicamente en el cantón de Grecia, de la Provincia de Alajuela, donde participaron 14 Asociaciones de Acueductos Rurales (ASADAS) y la Municipalidad de Grecia, trabajaron con una muestra total de 25 nacientes, 20 tanques de almacenamiento y 25 abonados del servicio de agua potable. Con ello pretendió mejorar la valoración del agua y evidenciar los problemas que dicho recurso presenta actualmente; las fortalezas y debilidades en materia del recurso hídrico que encontraron en la fase desarrollo de la investigación, pueden ser perfectamente extrapoladas a las situaciones típicas que afrontaba el país en materia de gestión hídrica y de manera muy específica en muchas ASADAS de la Región de Occidente. Finalmente, el monitoreo periódico de la calidad del agua potable en el cantón de Grecia permitió establecer los factores de riesgo ambientales o para la salud humana, que pueden presentar una ASADAS o Municipio, esto facilitó el desarrollo oportuno de criterios encausados hacia la prevención o corrección de cualquier no conformidad. Entre los principales problemas que encontraron estaban: la vulnerabilidad de los nacientes en términos de contaminación, defectuosos procesos de cloración y la contaminación con coliformes totales en varios sitios que estudiaron (Bolaños, 2013).

Briñez y colaboradores en 2012, estudiaron la calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima, describiendo la calidad del agua para consumo humano y su relación con la incidencia notificada de Hepatitis A, Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) e indicadores

sociales, mediante un estudio observacional descriptivo ecológico transversal, que utiliza bases de datos del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVICAP) y el Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA) de 2010. Obtuvieron una media, mediana, desviación estándar, proporción de incidencia notificada de municipios del Tolima (n=47), emplearon Anova de una vía y análisis de correlación. Los resultados más relevantes fueron un 63.83% de los municipios del Tolima que presentaron agua no potable. En la categoría de inviable sanitariamente se clasificaron los municipios: Ataco, Cajamarca, Planadas, Rovira, Valle de San Juan y Villarrica. El 27.7% de los municipios evidenciaron resultados con coliformes. No encontraron asociación estadística entre la incidencia de las enfermedades trazadoras y la calidad del agua; sin embargo, encontraron relación estadísticamente significativa entre la cobertura de acueducto, alcantarillado, nivel educativo y calidad del agua. Concluyeron que es necesario el mejoramiento de la calidad del agua, ampliando cobertura de servicios, la notificación epidemiológica y la promoción de buenas prácticas higiénico-sanitarias (Briñez et al., 2012).

En 2008, Álvarez y otros, desarrollaron un estudio integral sobre la calidad del agua superficial en los diferentes almacenamientos y corrientes de la cuenca hidrológica del río Amajac. Donde identificaron los problemas asociados con contaminantes específicos y establecieron alternativas de solución que sirven como base para programas y políticas de ordenamiento de los recursos hídricos. Seleccionaron cuatro presas, una laguna y cinco ríos, donde se midió el caudal, la velocidad del agua y el tirante máximo. También determinaron las principales características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas: oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitrógeno, fósforo, sulfatos, carbonatos bicarbonatos, cloro y manganeso. De acuerdo con los resultados, concluyeron que el agua del río en Tulancingo está fuertemente contaminada (Alvarez et al., 2008).

Mora y Cedeño en 2006, determinaron si fisicoquímica y bacteriológicamente el agua es potable y corrosiva en las etapas de tratamiento para agua cruda, sedimentada y filtrada de la Planta Angostura de Ciudad Bolívar Estado Bolívar. La investigación fue descriptiva y analítica y la realizaron mediante toma de muestras de aguas, entre la estación de bombeo en el río Orinoco y

la mezcla rápida en planta. Las muestras las analizaron de acuerdo al Método Estándar determinando el número de coliformes totales (CT) mediante la técnica de fermentación en tubos múltiples. Los resultados que obtuvieron para sólidos disueltos, CO₂, alcalinidad, dureza, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, y nitrato se encontraron en el rango de los valores permisibles. Sin embargo, el pH y mg/L de aluminio para muestras sedimentadas y filtradas estuvieron fuera de los valores límites de la Norma de Calidad de Agua Potable. El descenso de coliformes fecales en muestras de aguas sedimentadas y la ausencia en muestras filtradas, dio lugar a que la potabilidad del agua se encontrará dentro de la escala aceptable. La dosificación de coagulante y los mecanismos de mezclado operaron inadecuadamente lo que dio lugar a inestabilidades químicas con tendencias de corrosión (Mora y Cedeño, 2006).

Posteriormente en el año 2014, Sacchetti y sus colaboradores, realizaron una comparación microbiana del agua potable obtenida de un dispensador de microfiltros de agua (mwd) y la del agua del grifo. Analizaron un total de 233 muestras de agua enumerando los coliformes fecales, *Escherichia coli* (*ec*), enterococos (*ent*), coliformes totales (*ct*), *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *heterotrophic plate count* (HPC) a 22 °C y 37 °C. Además obtuvieron información acerca de las principales características estructurales y funcionales de cada mwd cuyo fin fue el estudio de los diversos factores que influían en la calidad microbiana del agua. No detectaron *Escherichia coli* ni enterococos en ninguna de las muestras. En el agua del grifo no detectaron coliformes totales, pero si encontraron en 5 muestras tomadas de 5 dispensadores de microfiltro diferentes. La aureus la encontraron en una sola muestra agua microfiltrada. Los paeruginosa fueron encontrados con mayor frecuencia y en concentraciones más altas en las muestras recogidas de mwd. Los hpc medias a 22 °C y 37 °C fueron significativamente mayores en muestras de agua microfiltrada en comparación con los del agua del grifo. Finalmente concluyeron que el uso de mwd podían aumentar el número de bacterias presentes originalmente en el agua del grifo. Por tanto, es importante controlar la calidad del agua dispensada en el tiempo, especialmente si está destinado para los usuarios vulnerables (Sacchetti et al., 2014).

3.2 Características Físicoquímicas

En 2013, Montoya y colaboradores, estudiaron el cambio de algunas variables físicoquímicas en el agua de siete años y siete ciénagas pertenecientes a la zona de planos de inundación de Ayapel en nueve muestreos durante el periodo 2006-2009. El valor medio de la conductividad eléctrica en la ciénaga fue tres veces inferior al valor medio de las ciénagas de la región. Consideraron $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ como discriminante entre ciénagas con valores inferiores y los caños con valores superiores. No hallaron relación entre la transparencia y la concentración de pigmentos fotosintéticos, por lo que consideraron esto como indicador de un nivel de estado trófico bajo del sistema. A nivel temporal todas las formas de nutrientes evaluadas presentaron diferencias lo que indico la importancia del efecto del pulso de inundación a través del ciclo hidrológico. Con la disminución de la columna de agua en época de estiaje, evidenciaron un aumento de las concentraciones de nitrógeno, las cuales fueron favorecidas por la resuspensión de material del fondo de la ciénaga. La concentración de fósforo fue más sensible a la variación espacial, ya que el ciclo de este nutriente estuvo asociado a los sedimentos y a la composición del suelo de cada microcuenca. Encontraron diferencias en la dinámica del sistema para una misma fase del pulso en ciclos sucesivos, por lo que el momento hidrológico en el que realizaron el muestreo fue el factor principal en el comportamiento de las condiciones físicoquímicas del sistema (Montoya et al., 2013).

Robles y colaboradores en 2013, determinaron la calidad del agua del acuífero Tepalcingo-Axochiapan, México. Efectuando seis muestreos y tomaron muestras en ocho pozos de agua potable antes de añadirle cloro y en un manantial. Determinaron dos parámetros bacteriológicos y once físicoquímicos. La mayoría de los pozos y el manantial presentaron aguas muy duras. Los pozos mostraron concentraciones más elevadas de sólidos disueltos en las zonas de menor altitud con excepción del manantial. De acuerdo al análisis discriminante y a las distancias de Mahalanobis, el manantial presentó mayores diferencias con respecto a los demás pozos. Bacteriológicamente, el manantial y un pozo no fueron adecuados para actividades recreativas y físicoquímicamente tres pozos fueron inadecuados como fuente de suministro de agua potable.

La falta de servicios sanitarios y el drenaje en algunas zonas pueden ocasionar el deterioro de la calidad del agua del acuífero en dichas zonas (Robles et al., 2013).

En 2009, Milan y otros, aplicaron y analizaron variables fisicoquímicas, indicadores biológicos, variables microbiológicas, macroinvertebrados acuáticos y el índice biótico BMWP, publicando sus resultados posteriormente en el año 2011. Las variables fisicoquímicas, los macroinvertebrados acuáticos y el índice BMWP indicaron mejores condiciones ambientales en la estación 2, que ubicaron a unos 150 m del nacimiento de la quebrada (estación 1), mientras que la estación 4, estuvo establecida cerca de la desembocadura al río Cauca, exhibió un deterioro del agua. Las estaciones 3 y 4 presentaron niveles altos de coliformes fecales, con un número mayor en la 4. No obstante, los resultados de las muestras que tomaron de la red de distribución de agua potable del corregimiento de Bolombolo indicaron que el agua proveniente del acueducto presentó condiciones aptas para el consumo humano (Milán et al., 2011).

Sardiñas y colaboradores en 2008, realizaron la evaluación físico-química del agua de depósitos positivos a focos de *Aedes Aegypti* en el municipio Cotorro de Ciudad de La Habana; el muestreo lo realizaron en el periodo de junio de 2004 a julio de 2005. El universo de trabajo estuvo constituido por 86 focos de *Aedes Aegypti* confirmados en el laboratorio del Centro Municipal de Higiene y Epidemiología, donde existieron más de 500 ml de agua en áreas de riesgo definidas por el Departamento de Lucha Antivectorial del municipio. Los focos representaron 41.3% del total de focos identificados en las 3 áreas de salud. La muestra que recolectaron representó 32.5% del total de focos. El pH se mantuvo en un intervalo de 6.80-7.11, la turbidez entre 5.0-7.8 U y la conductividad entre 406-909 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Encontraron que la concentración de nitrato estuvo entre 6.25-14.26 mg/L y la del nitrito entre < 0.006 -3.62 mg/L, la evaluación de las características físico-químicas, pH, turbiedad y nitratos del agua de depósitos positivos a focos de *Aedes Aegypti* no sobrepasaron los valores establecidos en la norma cubana. La concentración de nitrito sobrepasó la norma cubana en 17.8 % de las muestras (Sardiñas et al., 2008).

La temperatura, salinidad y turbidez del agua en el estuario del Guadalquivir, así como la abundancia, biomasa y número de especies de su macrofauna acuática (necton e hiperbentos), fueron estimadas en 2008 por Baldo y otros, mensualmente, entre junio de 1997 y mayo de 1999, en cinco estaciones de muestreo a 8, 20, 30, 40 y 50 km de la desembocadura, utilizaron para la toma de muestras un barco angulero provisto de un arte de pesca con malla de 1 mm de luz. En el estuario existió horizontalmente un marcado gradiente salino: la salinidad media mensual osciló habitualmente entre 17 y 27 en la estación más externa, mientras que en la zona más interna raramente sobrepasó 4. La temperatura fue homogénea en todo el estuario, con máximos estivales (28°C) y mínimos invernales (10°C). La turbidez también fue relativamente homogénea en todo el estuario, con valores máximos invernales (362 UNT) y mínimos principalmente estivales (10 UNT). Los máximos de turbidez coincidieron con la zona de confluencia del agua marina y dulce. Los resultados de los análisis de regresión múltiple por pasos indicaron que la distancia a la desembocadura y el caudal medio de agua desembalsada (el mes previo) desde la presa de Alcalá del Río (a 110 km de la desembocadura) explicando un 70% de la varianza de la salinidad, mientras que el caudal desembalsado apenas explicó 17% de la varianza observada en la temperatura y la turbidez del agua. La salinidad explicó un 50% de la varianza del número de especies, mientras que la salinidad y la temperatura son las variables ambientales que controlaron la variación de la abundancia y biomasa de la macrofauna estuárica, llegando a explicar 75% y 71% de la varianza de la abundancia y biomasa de la comunidad nectónica, respectivamente, y 54% y 48% de la varianza de la abundancia y biomasa hiperbentónica, respectivamente. La salinidad fue, en todos los casos, la variable que explicó un mayor porcentaje de la varianza (Baldo et al., 2005).

3.3 Características Microbiológicas

Pfaller en 2014, estudió que las enfermedades transmitidas por el agua causada por la exposición a microorganismos en el agua potable contaminada es un problema que trasciende las fronteras geográficas y socioeconómicas. La carga mundial de consumo de las enfermedades transmitidas

por el agua en la población humana y su impacto económico ha estimulado el desarrollo de nuevas herramientas para la evaluación de la calidad microbiológica y la seguridad del agua potable. Proporciono una visión general de los avances en los métodos para la detección de microorganismos patógenos en el agua potable, incluyendo virus, bacterias y protozoos, y discutiendo el valor de la orientación indicadores para predecir la aparición de agentes patógenos en el agua potable (Pfaller, 2014).

En 2013, Alba y colaboradores, investigaron que la contaminación microbiológica y química del agua potable origina efectos adversos a la salud. Un suministro adecuado de agua potable es universalmente reconocido como una necesidad humana básica. El objetivo de la revisión fue conocer los riesgos microbiológicos en agua de bebida. Calidad del agua, es garantizar que los consumidores no estén expuestos a agentes patógenos que puedan causar enfermedades. El agua natural puede contener una gran variedad de microorganismos patógenos, bacterias, virus y protozoos. Las cepas patógenas intestinales de *Escherichia coli* pertenecen a los prototipos: enterohemorrágica, enterotoxigénica, enteroinvasiva, enteropatógena, *E. coli* productora de la toxina Shiga y de adherencia difusa. Los coliformes totales y fecales termotolerantes fueron utilizados como indicadores que afectan la calidad del agua y al evaluar la presencia de *E. coli* midieron el riesgo de la contaminación microbiana en el agua potable. Recomendando tomar medidas de prevención para salvaguardar de contaminación futura (Alba et al., 2013).

Para el mismo año, Benítez y colaboradores, descubrieron que el consumo del agua potable envasada ha aumentado durante la última década, no obstante, mencionaron que desconocen la calidad que se puede ofrecer al consumidor. El objetivo de su estudio, fue evaluar la calidad microbiológica del agua envasada en bolsas y botellas que se venden en la ciudad de Maracaibo del Estado Zulia, Venezuela. Seleccionaron 10 marcas comerciales de agua envasada, obtenidas en distintos puntos de venta de la ciudad. Realizaron el análisis microbiológico de acuerdo a normas COVENIN, mediante el método del número más probable (NMP), para determinar coliformes totales, coliformes fecales, aerobios mesofilos y *Pseudomonas aeruginosa*. Los valores de NMP para coliformes totales estuvieron entre 9.2 y < 2.2, coliformes fecales entre 5.1

y < 2.2 NMP y para *Pseudomona*, la muestra B mostró el valor más alto con un NMP de 28. Concluyeron que solo 2 marcas (A y G) cumplieron con todos los requisitos microbiológicos, siendo estas aptas para consumo humano (Benítez et al., 2013).

En 2012, Romeu y colaboradores, estudiaron que el río Luyanó recibe a lo largo de su trayectoria vertimientos de aguas residuales urbanas e industriales sin tratamiento alguno, lo que provoca un deterioro de la calidad de sus aguas. Sin embargo, en algunos tramos del río se realizan actividades recreativas y se emplea el agua para el riego de diferentes cultivos. Su trabajo tuvo como objetivos determinar la magnitud de los indicadores físico-químicos temperatura y pH en un tramo de 5 km en el curso inferior del río y evaluar la calidad microbiológica de sus aguas. La medición de estos indicadores la realizaron in situ en cada punto de muestreo. Para la cuantificación de los microorganismos indicadores, utilizaron la técnica de filtración por membrana y emplearon los medios agar Lactosa Tergitol con cloruro de trifetil- 2, 3, 5-tetrazolio (TTC) para determinar los coliformes termotolerantes y agar Chromocult (para coliformes) para *Escherichia coli*. El pH y la temperatura que obtuvieron in situ permanecieron dentro de los rangos óptimos para el crecimiento bacteriano. Las concentraciones de *E. coli* y coliformes termotolerantes oscilaron entre 1.1×10^4 - 2.9×10^5 y 1.2×10^5 - 5.7×10^6 unidades formadoras de colonias/100 ml respectivamente, superiores al límite máximo permisible establecido (NC 22). Encontraron que existe una tendencia a la linealidad entre las concentraciones de estos indicadores y el valor medio de relación *E. coli*/coliformes termotolerantes esta fue de 0.9. Determinaron que la calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó es inadecuada para la realización de actividades recreativas y el riego agrícola (Romeu et al., 2012).

Ramírez y otros en 2009, determinaron la calidad microbiológica (coliformes totales, coliformes fecales y amibas de vida libre) del acuífero de Zacatepec, Morelos. Para ello realizaron muestreos mensuales durante un año en trece pozos del acuífero; midieron en el lugar los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, oxígeno disuelto y temperatura. Determinaron los coliformes totales y fecales utilizando la técnica de filtro de membrana; para las amibas

utilizaron el medio selectivo agar no nutritivo con *Enterobacter aerogenes* (NNE) y la identificación la realizaron tomando en cuenta sus características morfológicas. Todos los pozos presentaron contaminación por coliformes totales, uno de ellos con una media geométrica de 107 UFC/100 ml. En cambio, los coliformes fecales estuvieron ausentes en cuatro de los pozos, pero en uno se presentó contaminación alta con una media geométrica de 107 UFC/100 ml. El pozo más contaminado con bacterias fue el número 3 y la contaminación de coliformes totales y fecales más alta se presentó en los meses de abril y julio. Detectaron amibas de vida libre en todos los pozos; en el 2 encontraron el mayor número de aislamientos amibianos, en tanto que en los pozos 4, 5 y 10 presentaron los más bajos. Ellos observaron los números más altos en diciembre y enero y el más bajo en abril. Aislaron 22 especies pertenecientes a 16 géneros; el más frecuente fue *Hartmannella* con 38 %, el cual no había sido reportado como patógeno, pero encontraron asociado a infecciones oculares y cerebrales en humanos. De las amibas patógenas, detectaron *Acanthamoeba*, pero con baja frecuencia (6.7 %). Los parámetros fisicoquímicos tuvieron muy poca variación temporal: el pH se mantuvo cercano a la neutralidad en un intervalo promedio de 6.7 a 7.3, la temperatura fue de 25.1 a 28.0 °C y el oxígeno disuelto de 2.9 a 4.8 mg/L. Los valores promedio de estos parámetros entre los pozos fueron muy semejantes. La presencia de las bacterias coliformes indicó que existe una contaminación de origen antrópico en el acuífero y junto con la presencia de las amibas de vida libre patógenas, resalta la importancia de desinfectar el agua antes de su consumo como agua potable (Ramírez et al., 2009).

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua potable consumida en el municipio de Turbaco, Bolívar; mediante análisis in situ, de laboratorio y herramientas de gestión ambiental.

4.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un diagnóstico de las muestras de agua potable en los puntos escogidos del municipio para la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
2. Comparar la calidad del agua teniendo como punto de cumplimiento la normatividad vigente.
3. Determinar la variación espacial de la calidad del agua en el área estudio.
4. Proponer una herramienta de gestión ambiental para la optimización y monitoreo de la calidad del agua.

5 METODOLOGÍA

La investigación es de tipo experimental desarrollada a partir de un muestreo al agua potable suministrada a través de la red de acueducto, en el municipio de Turbaco, Bolívar, Caribe Colombiano, distribuyendo los puntos de muestreo de manera estratégica en la zona urbana para obtener una cobertura más representativa acorde al sistema de referencia cartesiano (puntos cardinales), cuyo objetivo es identificar mediante análisis fisicoquímico y microbiológico, siguiendo los métodos establecidos por Standard Methods (SM) edición 22 del 2012, si el agua es apta para el consumo humano de acuerdo a la normatividad vigente.

5.1 Área de Estudio

Geografía: Turbaco, es un municipio del departamento de Bolívar, este de acuerdo a su posición geográfica se sitúa a los 10 grados, 19 minutos y 30 segundos de latitud norte; y a 1 grado, 17 minutos y 29 segundos de longitud oeste del meridiano de Bogotá. El suelo de Turbaco es fértil en el 80%, es seco, de roca caliza con restos de corales petrificados, muy permeable a las aguas lluvias. Abunda la piedra de naturaleza calcárea (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Turbaco tiene 201 hectáreas, correspondientes al 1.1% de relieve ondulado, ligeramente ácido, con moderado drenaje y propenso a la humedad, 6135 hectáreas, correspondientes al 32.6%, algo plano o ligeramente ondulado de fácil erosión, drenaje y fertilidad moderada, 666 hectáreas, correspondientes al 3.5%, sufre encharcamiento por las aguas fluviales, no favorece el desarrollo normal de las raíces, 2075 hectáreas - 11%- ondulado, ligeramente ondulado tierra de erosión y 320 hectáreas - 1.7% - tierras planas de fácil anegamiento en el invierno. Algunas presentan problemas de sanidad. Por último 20 hectáreas que se encuentran ocupadas por Ciénegas (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Ordenamiento Territorial: Según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial el Municipio de Turbaco se encuentra ubicado en el departamento de Bolívar a una distancia de 10 Km de la Ciudad de Cartagena; limita al norte con los municipios de Santa Rosa y Villanueva (Alipaya y Timiriguaco, sus nombres indígenas), al este con San Estanislao de Kostka, Arenal, al sur con Arjona y Turbana y al occidente con Turbana y Cartagena. Los corregimientos de Cañaveral, Chiquito y la Vereda de Aguas Prietas, integran la división política administrativa del Municipio de Turbaco. El Municipio tiene una extensión total de 170 Km², dividida entre una extensión urbana con 5.34 Km² y rural con 5.069 Km²; con una altitud de 200 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 28° C (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Tabla 6. Características geográficas de Turbaco

VARIABLES	VALORES
Extensión total	170 Km ²
Extensión área urbana	5.34 Km ²
Extensión área rural	5.069 Km ²
Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar)	200 Metros
Temperatura media	28° C
Distancia de referencia	10 Km

Nota Fuente: Alcaldía de Turbaco, s.f.

Cuenta con 33 barrios los cuales se encuentran divididos en 6 comunas, de la siguiente manera (ver tabla 7):

Tabla 7. División de barrios por comunas del municipio de Turbaco

Comunas	Barrios
Comuna 1	La Granja, Urbanización El Valle, La Floresta.
Comuna 2	El Recreo, San Pedro, Los Manguitos y Media Tapa.
Comuna 3	Calle Poza de Manga, Calle San Pablo, Calle Nueva, Pumarejo y Calle La Estrella
Comuna 4	Calle de Santa Catalina, San Roque, Calle del Coco, Calle del Cerro, Calle del tronco, Las Flores, Av. Pastrana, urbanización La Cruz, Fátima y Calle del Progreso.
Comuna 5	La Canalita, Cucuman, Las Cocas, Buenos Aires, La Manga.
Comuna 6	Bellavista, Porvenir, Las Delicias, Prado, Paraíso, Calle Papayal.

Nota Fuente: Alcaldía de Turbaco, s.f.

Población: La población del municipio tiene un total de 63,046 habitantes divididos en el casco urbano con 57,714 y en la zona rural 5,332 personas. La mayoría de la población que vive en el casco urbano trabaja en la ciudad de Cartagena y la población rural obtiene sus ingresos de la agricultura y ganadería de la zona (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Economía: El municipio de Turbaco cuenta con 2043 hectáreas dedicadas a la agricultura de: Plátano, Cítricos, Mango, Guayaba, Níspero, Mamey, Zapallo, Maíz, Frijoles, Yuca, Millo, Ñame, Berenjena, Caña Panelera. También cuenta con los sectores de industria y comercio y servicios (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Ecología: La gran riqueza eco sistémica en Turbaco no es ajena a su historia, en el pasado este asentamiento presentaba unas condiciones climáticas adecuadas para la convalecencia de

enfermedades, es así como muchos personajes de la historia de Colombia, como el Libertador Simón Bolívar, guardaban reposo en Turbaco; además de ser lugar de recreo debido a sus excelentes bondades ecológicas, ambientales y paisajísticas (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Las fuentes superficiales de agua fluyen en gran cantidad, debido a las características de la Geología de Turbaco, esta bondad natural, hace que sus calizas porosas y solubles sirvan de vías para la conducción de las aguas de lluvia que afloran en varios arroyos como el Matute, el Mameyal, el Cucumán, el Zapote entre otros que se mantienen durante todo el año, reduciendo en algunos casos su cauce por razones del verano. Esta condición hídrica natural, ambientalmente compromete el manejo de los cauces que nacen y cruzan el casco urbano de Turbaco, actualmente el estado ambiental de estas áreas es deplorable y con tendencia a desaparecer, ocasionadas por el alto impacto de la tala, el uso doméstico (lavado de ropas, de animales y automóviles) y la contaminación por basuras y desechos arrojados en los arroyos (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Los parques son áreas destinadas para la diversión y esparcimiento de las personas en los barrios y sectores residenciales; cumplen una actividad muy importante dentro del funcionamiento de una ciudad, Turbaco presenta un déficit en estas áreas, los parques del municipio no cuentan con infraestructura equipamiento y diseño adecuado, en su totalidad (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Vías de Comunicación Aéreas: El Municipio de Turbaco utiliza el Aeropuerto Internacional de Crespo ubicado en la ciudad de Cartagena, ya que este municipio se encuentra muy cerca a esta ciudad (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Vías de Comunicación Terrestres: El municipio cuenta en la actualidad con dos sistemas, uno de carácter urbano-rural y otro interurbano, este último permite la comunicación directa con la ciudad de Cartagena, cuya cercanía, permite al municipio de Turbaco utilizar la infraestructura de la Terminal de Transporte, el Aeropuerto Internacional de Crespo y el sistema portuario del

distrito de Cartagena. De hecho es una fortaleza geográfica que permite al municipio comunicarse y movilizarse con la región, el resto del país y el mundo (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

En materia de transporte, cuentan con un total de aproximadamente 73 buses intermunicipales con una capacidad de 60 pasajeros aproximadamente, los usuarios acceden al servicio a través de tres rutas (Turbaco-Paraíso, Turbaco-San Pedro, Turbaco-Centro). En el municipio de Turbaco solo se utiliza tipo de transporte terrestre, específicamente el sistema masivo o transporte de pasajeros y el de carga (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

Vías de Comunicación Fluviales: El Municipio de Turbaco no cuenta con vías de comunicaciones fluviales (Alcaldía de Turbaco, s.f.).

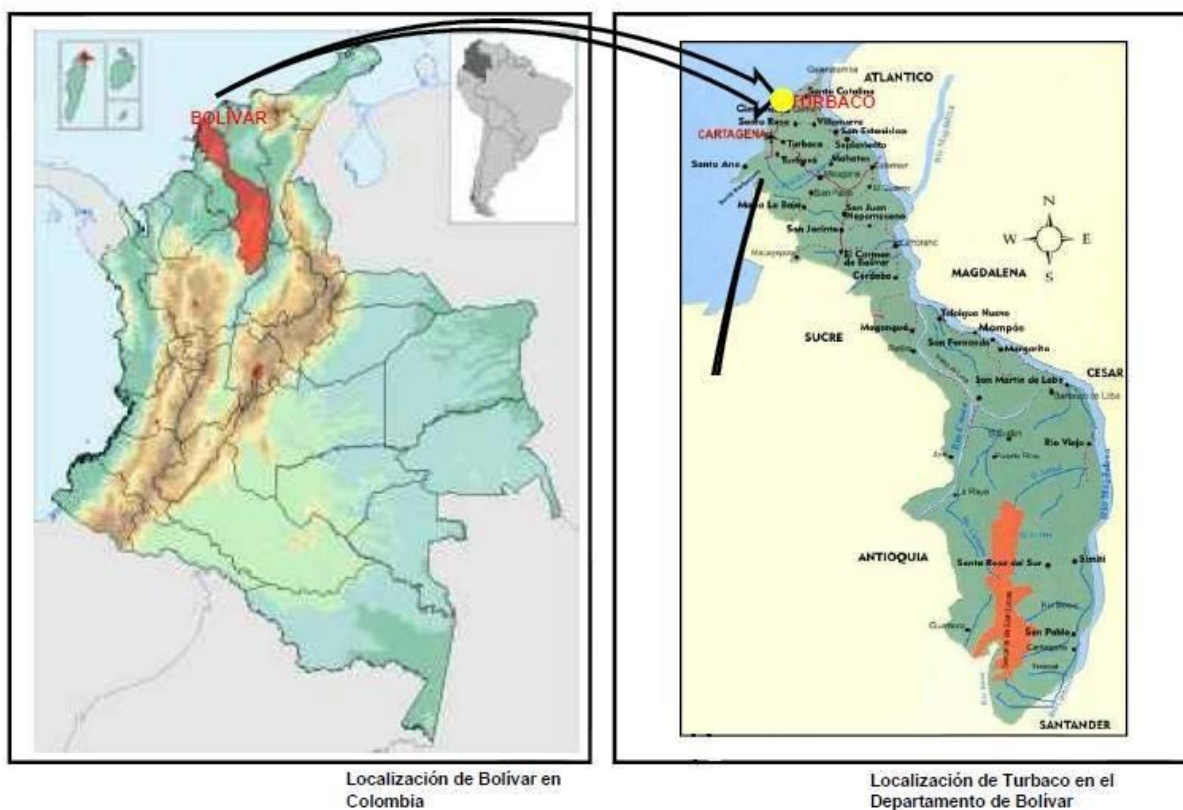


Figura 1. Mapa ilustrativo de Turbaco (Bolívar).

5.2 Fase de Muestreo

La recolección de muestras de agua fue específica para el análisis fisicoquímico y microbiológico a evaluar siguiendo los lineamientos técnicos establecidos en el ISBN: 978-958-13-0147-8 “Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio”.

La recolección de muestras de agua se llevó a cabo en el mes de Mayo del 2014, entre las 9:00 y 12:00 m. Los envases se rotularon con el nombre y número del punto de muestreo (ver Anexo 3) y en una tabla con las coordenadas, se consignaron las horas de recolección.

5.2.1 Toma de muestra para análisis físico-químico

Para la toma de muestras del de agua de red, se abrió el grifo y se dejó que el agua corriera el tiempo suficiente (aproximadamente 5 minutos) de tal manera que se lograra tener purgada toda la cañería que llega desde el tanque.

Se enjuago primeramente el envase dos o tres veces con el agua a muestrear para purgar el recipiente, luego de que este estuviese limpio y purgado se procedió a llenarlo directamente con el agua del grifo y se tapó, guardándolo en una conservadora con el hielo, evitando el contacto con la luz.

Se tomaron las precauciones de retirar del grifo o boca de salida las mangueras u otros accesorios, y de limpiarlo tratando de eliminar sustancias acumuladas en el orificio interno de salida del agua y en el reborde externo

5.2.2 Toma de muestra para análisis microbiológico

En la toma de muestras para análisis microbiológico se calentó el grifo, por lo que se tuvieron muy en cuenta los tipos de material del que estaba elaborado. Para la desinfección se utilizó un mechero, alcohol y una solución de hipoclorito.

Los pasos prácticos que se utilizaron para la toma de cada una de las muestras para análisis microbiológico fueron:

- 1) El envase utilizado fue suministrado por el laboratorio de salud pública y estaba previamente esterilizado y sellado, con la finalidad de neutralizar los restos de cloro los envases contenían una pastilla de Tiosulfato de Sodio (inhibe la acción de metales y del cloro) (ver Anexo 4).
- 2) A los grifos metálicos se les roció la solución de hipoclorito junto con el alcohol y se procedió a quemar con el mechero la boca del grifo por donde salía el agua (si el material era plástico se realizó el mismo procedimiento pero un menor tiempo para que no se deteriorara el material plástico), al igual que en el muestreo fisicoquímico se dejó correr el agua el tiempo suficiente de tal manera que se purgara la cañería.
- 3) Se abrió el recipiente estéril, evitando todo contacto de los dedos con la boca e interior del mismo y sosteniendo la tapa de manera que ésta mirara para abajo.
- 4) El frasco se llenó dejando una cámara de aire, evitando la introducción de partículas externas y se tapó inmediatamente asegurándolo con un cierre perfecto.

- 5) La muestra se guardó en una conservadora, con hielo bien limpia.

5.2.3 Transporte de la muestras

Para el transporte de las muestras fue indispensable que las muestras se mantuvieran refrigeradas hasta ser llevadas al laboratorio, ya que tanto las temperaturas mayores a 6°C como la luz provocan la multiplicación de los microorganismos e invalidan la muestra dado que los resultados no reflejarán la realidad. Tras terminar el procedimiento detallado anteriormente las muestras fueron llevadas inmediatamente al laboratorio.

5.3 Fase de Laboratorio

5.3.1 Análisis Físicoquímicos de muestras de agua potable

Técnicas de análisis físicoquímico

Para realizar el análisis de cada uno de los parámetros físicoquímicos en el laboratorio, se usaron varios métodos; los métodos estuvieron en gran parte determinados por el Standard Methods (SM) edición 22 del 2012; uno de los métodos más usados fue el método volumétrico, con él se analizaron parámetros como acidez, alcalinidad, aluminio, amonio, cloruros, dureza total y cálcica; el método colorímetro se usó en parámetros como fosfato, hierro, nitrato, nitrito, sulfatos. Para la conductividad eléctrica, fluoruros y materia orgánica, se usaron otro tipo de métodos (ver Tabla 8).

Tabla 8. Parámetros y métodos de muestreo usados en el laboratorio

Parámetros	Procedimiento (referencia)
ACIDEZ	Método volumétrico, SM 2310 B
ALCALINIDAD TOTAL	Método volumétrico, SM 2320 B
ALCALINIDAD A FENOLFTALEINA	Método volumétrico, SM 2320 B
ALUMINIO	Método volumétrico Eriocromocianina R, SM 3500-Al B
AMONIO	Método volumétrico Spectroquant Merck 14752 equivalente a SM 4500-NH3 D
CLORUROS	Método volumétrico con nitrato de plata
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Método electrométrico con conductivímetro HACH sensION7, SM 2510 B
DUREZA DE CALCIO	Método volumétrico con EDTA, SM 3500-Ca B
DUREZA TOTAL	Método volumétrico con EDTA, SM 2340 C
FLUORUROS	Método potenciométrico con equipo termo orion Analizador de iones
FOSFATO	Método colorimétrico con espectrofotómetro HACH DR 3900
HIERRO	Método colorimétrico con espectrofotómetro HACH DR 3900, Spectroquant Merck 14761
MATERIA ORGANICA	Método oxidabilidad al permanganato-volumetría, AENOR 1997
NITRATOS	Método colorimétrico, SM 4500-NO3- B
NITRITOS	Método colorimétrico con espectrofotómetro HACH DR 3900, SM 4500-NO2- B
SULFATOS	Método colorimétrico, con espectrofotómetro HACH DR 3900

Nota Fuente: Adaptado laboratorio de ACUACAR y laboratorio de Salud Pública. SM, 2012.

En la Tabla 9 se muestran los métodos que se utilizaron para el análisis fisicoquímico de ciertos parámetros que el Decreto 1575 establece como básicos del agua potable.

Tabla 9. Parámetros físicos básicos del agua potable determinados por el Decreto 1575/2007

Potable básico Decreto 1575 (microbiológicos + fisicoquímicos)	
COLORO RESIDUAL LIBRE	Método colorimétrico con espectrofotómetro HACH DR 3900, SM 4500-C1 G
COLOR APARENTE	Método Comparación visual, SM 2120 B
pH	Método Electrométrico, SM 4500-H ⁺ B
TURBIEDAD	Método Nefelométrico, con Turbidímetro HACH 2100N, SM 2130 B

Nota Fuente: Adaptado laboratorio de ACUACAR y laboratorio de Salud Pública. SM, 2012.

5.3.2 Análisis Microbiológico de muestras de agua potable

Técnicas de análisis microbiológico

Para el análisis de los coliformes totales y la *Escherichia coli* se empleó el método de filtración por membrana detallado en la Tabla 10, este método consiste en pasar la muestra con ayuda del vacío a través de una membrana de celulosa de 0.45 micras de tamaño de poro, para que queden retenidas en el, las bacterias de tipo coniforme y las mesofilicas. El filtro es colocado en un medio de cultivo específico para lo que se desea determinar en la muestra (coliformes totales, coliformes fecales y microorganismos mesofilicos), incubando a 35°C +/- 2°C durante 18 a 20 horas. Ofrece ventajas en el tiempo de análisis y es comparable con el método de tubos múltiples usado en muchos laboratorios para analizar los coliformes. (Paez, 2008)

Tabla 10. Parámetros microbiológicos básicos del agua potable determinados por el Decreto 1575/2007

Potable básico Decreto 1575 (microbiológicos + fisicoquímicos)	
COLIFORMES TOTALES	Filtración por membrana, SM 9222 B
<i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana, SM 9222 B

Nota Fuente: Adaptado laboratorio de ACUACAR y laboratorio de Salud Pública. SM, 2012.

5.4 Tratamiento Estadístico

Se realizó una evaluación de la variación espacial del agua consumida en la área urbana del municipio de Turbaco, en el mes de mayo del 2014, los puntos de muestreo se escogieron de acuerdo al sistema de referencia cartesiano, cuyo objetivo fue abarcar de manera representativa la zona en estudio. Estos puntos fueron superpuestos en el plano del municipio para observar la cobertura que teníamos como parte del muestreo, realizando así la primera gráfica relacionada con la investigación (ver Anexo 2). Los datos que arrojó el análisis fisicoquímico y microbiológico realizado en el laboratorio fueron tabulados y analizados por medio de programa estadístico EXCEL y la metodología para la construcción de los gráficos permitió observar e inferir el comportamiento del agua consumida en la comunidad desde los diferentes parámetros analizados.

La evaluación de la calidad de agua del municipio, se determinó por medio un análisis estadístico simple, a través de la elaboración de gráficos de variación espacial. Así mismo se tabulo y analizo la relación y/o contraste entre los valores obtenidos con los valores máximos aceptables para cada uno de los parámetros establecidos en la normatividad. Es preciso anotar un margen de error debido a las condiciones bajo las cuales se adquirieron las diversas muestras.

Los puntos representativos en los que se tomaron las muestras del área urbana están localizados en las siguientes coordenadas (ver tabla 11) geográficas extraídas de la herramienta ofimática Google Earth:

Tabla 11. Sitios de muestreo, convenciones y coordenadas

Sitio de muestreo		Coordenadas	
Estación	Lugar	Latitud	Longitud
E1	Malibú	10°20'8.37"N	75°25'10.27"O
E2	Prado Verde	10°20'32.60"N	75°24'44.09"O
E3	Bella Vista	10°20'10.84"N	75°24'43.77"O
E4	Urb. La Cruz	10°19'54.05"N	75°24'51.61"O
E5	Calle San Roque	10°19'38.27"N	75°24'35.38"O
E6	Pumarejo	10°19'13.56"N	75°24'31.89"O
E7	Calle San Juan Bosco	10°19'42.64"N	75°24'50.05"O
E8	El Recreo	10°19'42.73"N	75°25'16.54"O
E9	Altos de Plan Parejo	10°19'56.80"N	75°25'31.13"O

Nota Fuente: Autor.

6 RESULTADOS

La calidad del agua se pudo evaluar mediante algunos parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, clasificando o agrupando algunos de ellos, en básicos, volumétricos y colorimétricos según el método utilizado para su análisis, estos parámetros medidos in situ y en laboratorio facilitaron la obtención de los ítems tabulados a continuación:

Parámetros fisicoquímicos

❖ Básicos:

Fueron agrupados el color, la turbiedad, parámetros organolépticos, el pH y la conductividad, como parámetros básicos determinantes de la calidad del agua consumida, obteniendo por estación la variabilidad de cada uno (ver Figura 2).

Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos básicos por estaciones

PARAMETRO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
pH	7.43	7.40	7.45	7.08	7.48	7.05	7.32	7.20	7.55
Turbiedad	0.91	0.63	1.15	0.09	1.79	1.68	1.45	1.60	0.13
Conductividad	163.10	747.00	165.80	947.00	164.90	158.60	159.50	169.60	660.00
Color	10.00	10.00	5.00	10.00	12.00	10.00	10.00	10.00	10.00

Nota Fuente: Autor.

La Figura número 2 muestra la variación espacial de los parámetros básicos muestreados en las siete estaciones. En el caso del potencial de hidrogeno (pH) la Tabla 12 muestra que este se mantuvo en un rango de 7.05 a 7.55 unidades de pH; aunque este rango está dentro del valor máximo permisible establecido en el marco legal se evidenció que la estación E9 estuvo distante

7.28 unidades porcentuales de la neutralidad del agua, característica ideal para la funcionalidad de la bioquímica humana. Así mismo se observa claramente la variación de la conductividad de las estaciones dos, cuatro y nueve con respecto a las demás, siendo el punto cuatro el más próximo a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor límite señalado en la norma.

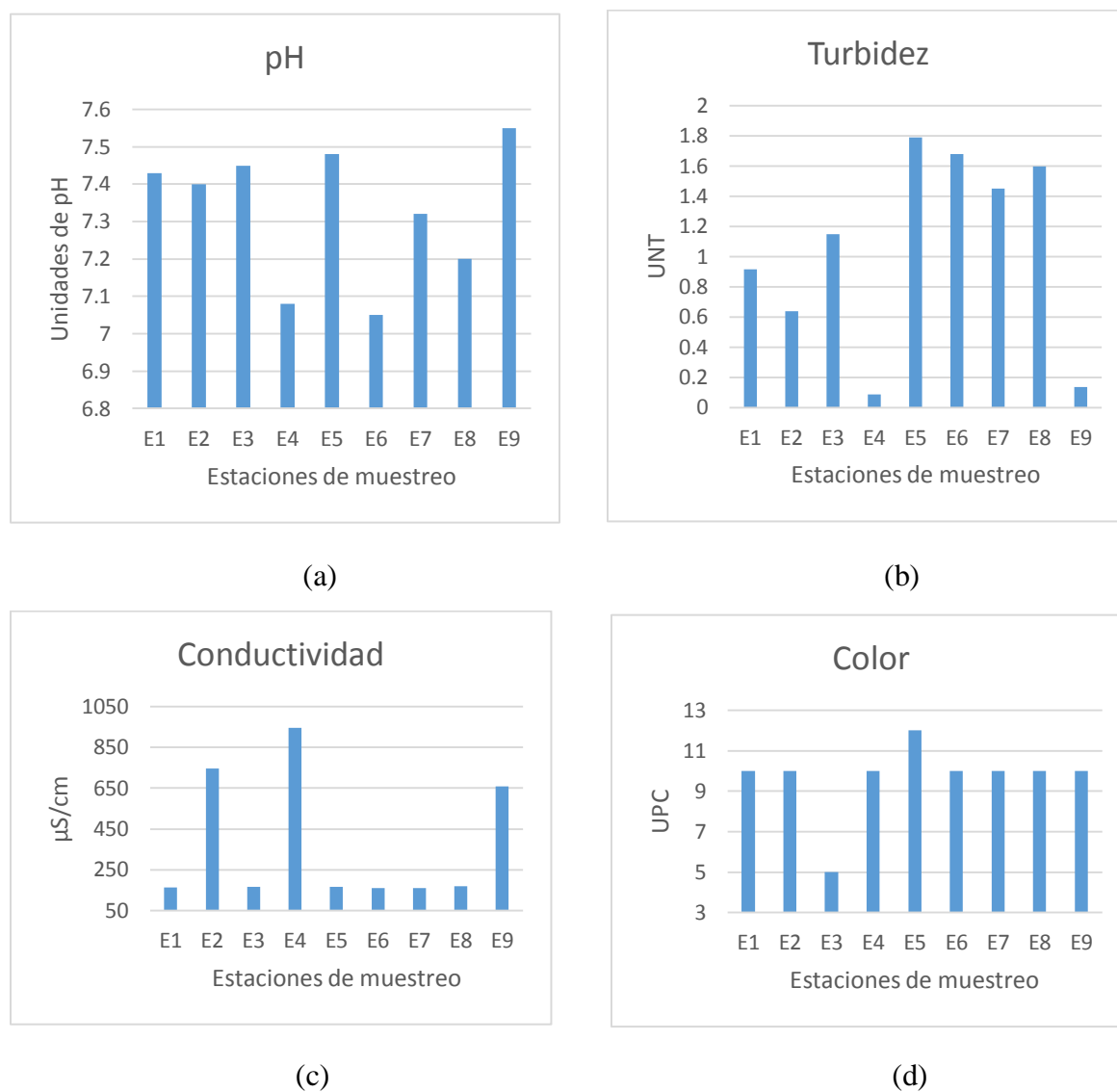


Figura 2. Parámetros Fisicoquímicos Básicos: (a) Comportamiento del pH, (b) Variación espacial de la Turbidez, (c) Variación de la conductividad en las estaciones muestreadas, (d) Comportamiento del color por estaciones.

Nota Fuente: Autor.

❖ Colorimétrico:

De igual manera, se estableció, el subgrupo de parámetros por análisis colorimétrico conformado por los nitritos, nitratos, y amonios, tabulados para cada estación así:

Tabla 13. Parámetros fisicoquímicos por análisis colorimétricos

PARAMETRO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Nitrato	1.40	0.90	1.29	1.02	0.85	0.79	0.93	1.03	1.15
Nitrito	0.009	0.059	0.009	0.02	0.016	0.003	0.009	0.009	0.023
Amonio	0.05	0.03	0.01	0.44	0.69	0.56	0.72	0.80	1.03

Nota Fuente: Autor.

En efecto el comportamiento de los nitritos fue constante en cuatro estaciones, y se presentó en mayor cantidad de concentración en la estación dos. Por otra parte los nitratos variaron de 0.79 a 0.90 mg/L, donde la estación con mayor concentración fue la estación E1, siendo del orden de 1.4 mg/L.

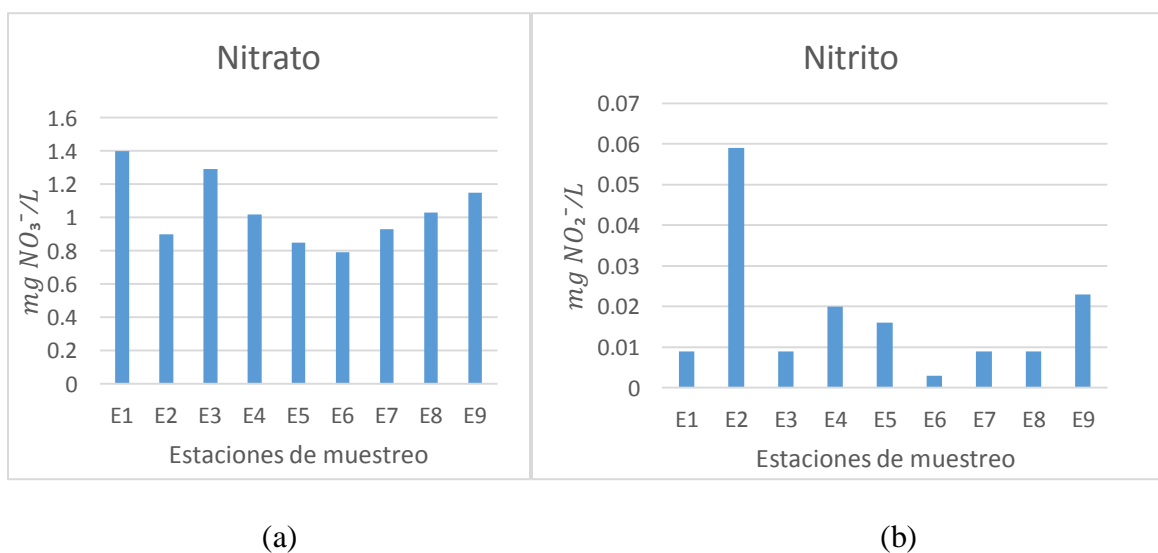


Figura 3. Parámetros por análisis colorimétrico: (a) Comportamiento de los nitratos, (b) Variación espacial de los nitritos.

Nota Fuente: Autor.

También como parte de este grupo el amonio encontrado en el agua de consumo humano, según los resultados oscila entre 0.01 y 1.03 mg/L; aunque este parámetro no está regulado por la normatividad Colombiana, bajo los estándares Europeos, cuyo valor máximo aceptable es 0.50 mg/L, las primeras cuatro estaciones se encuentran por debajo de este límite, mientras que las otras cinco consecutivas, es decir de la estación 5 a la 9 superan dicho valor.

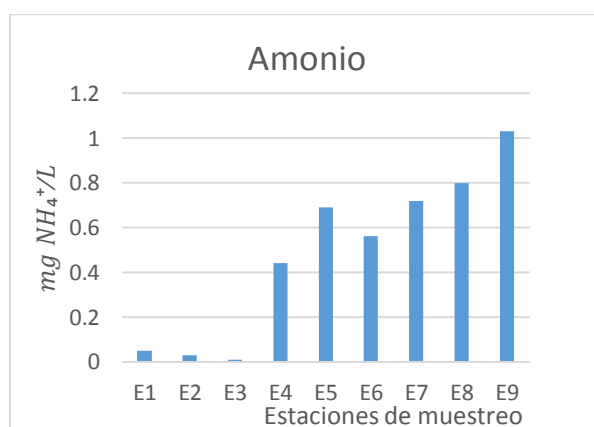


Figura 4. Parámetros por análisis colorimétrico: Variación de amonio en las estaciones muestreadas.

Nota Fuente: Autor.

❖ Volumétricos

A partir de la alcalinidad, la dureza, acidez y cloruros se constituyó el grupo de los parámetros fisicoquímicos volumétricos, variando en rangos de 55.2 a 302.4 mg CaCO₃/L, de 67.5 a 225.8 mg CaCO₃/L, de 5 a 25 mg CaCO₃/L, de 10 a 67.98 mg Cl⁻/L respectivamente.

Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos volumétricos

PARAMETRO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Alcalinidad total	55.20	273.60	54.40	302.40	59.20	56.80	55.20	57.60	287.20
Dureza Total	67.40	124.20	74.60	145.80	74.20	66.60	67.80	71.80	225.80
Acidez	5.00	25.00	6.00	22.00	5.00	8.00	5.00	5.00	19.00
Cloruros	11.00	66.98	9.50	67.98	10.00	8.75	9.00	9.50	29.49

Nota Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta el comportamiento de la alcalinidad y el valor máximo permisible, existen estaciones en las que se excede este límite, lo que sugiere que el agua consumida en la estación dos, cuatro y nueve no son aptos en términos de alcalinidad.

Por otro lado, tras el análisis realizado en laboratorio, y basándonos en la Tabla 15, se observó que la alcalinidad del agua consumida causada por los carbonatos es nula, mostrando implícitamente que esta propiedad presente en el agua de consumo es causada principalmente por bicarbonatos.

Tabla 15. Relaciones de alcalinidad

Resultado de la Titulación	Alcalinidad de Hidróxidos	Alcalinidad de Carbonatos	Alcalinidad de Bicarbonatos
$F = 0$	0	0	T
$F < \frac{1}{2} T$	0	2 F	$T - 2 F$
$F = \frac{1}{2} T$	0	2 F	0
$F > \frac{1}{2} T$	$2 F - T$	$2 (T - F)$	0
$F = T$	T	0	0

Nota Fuente: Severiche et al., 2013.

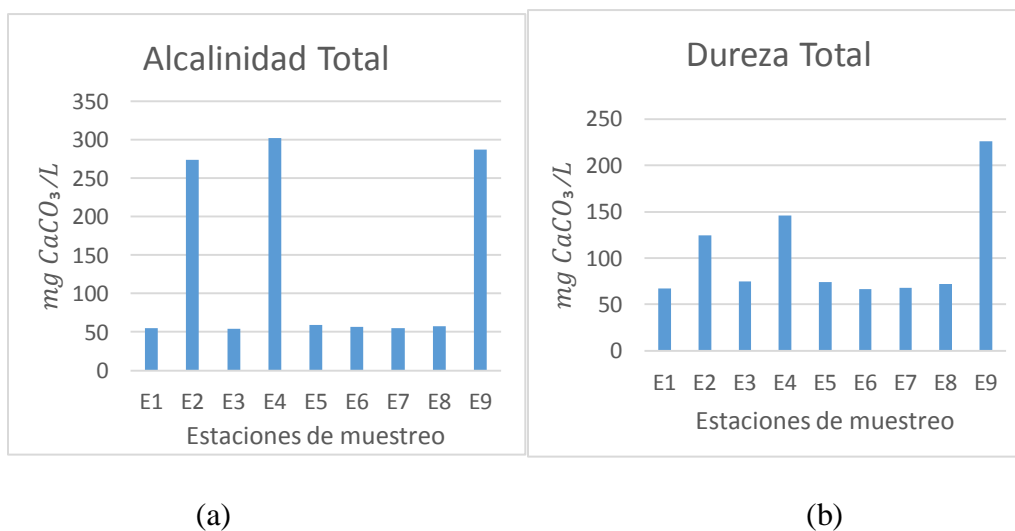


Figura 5. Parámetros fisicoquímicos volumétricos: (a) Comportamiento de la alcalinidad, (b) Variación espacial de la dureza total.

Nota Fuente: Autor.

En cuanto al contenido de dureza total encontrado, todas las estaciones son aptas para consumo humano, no obstante, con base en la dureza analizada en el laboratorio se obtuvieron valores asociados a cada estación de los niveles de calcio y magnesio, revelando que la estación nueve (E9) excede los límites de magnesio que permite la legislación vigente.

Así mismo por cada estación se relacionó la concentración de cloruros arrojada, observándose un cambio brusco de la estación 1 a la 2 y de la estación 3 a la 4, es decir, que las concentraciones más bajas correspondieron a las estaciones 1, 3, 5, 6, 7 y 8 (ver Figura 6b), elevándose nuevamente en la estación 9, sin embargo todas se encuentran por debajo del valor máximo aceptable.

En cambio en términos de acidez no se pudo correlacionar con algún estándar de medición, puesto que ninguno de los estándares estudiados tiene en cuenta la acidez como parámetro fisicoquímico debidamente regulado para agua de consumo humano. En la Figura 6a se observa la variación espacial de la acidez medida.

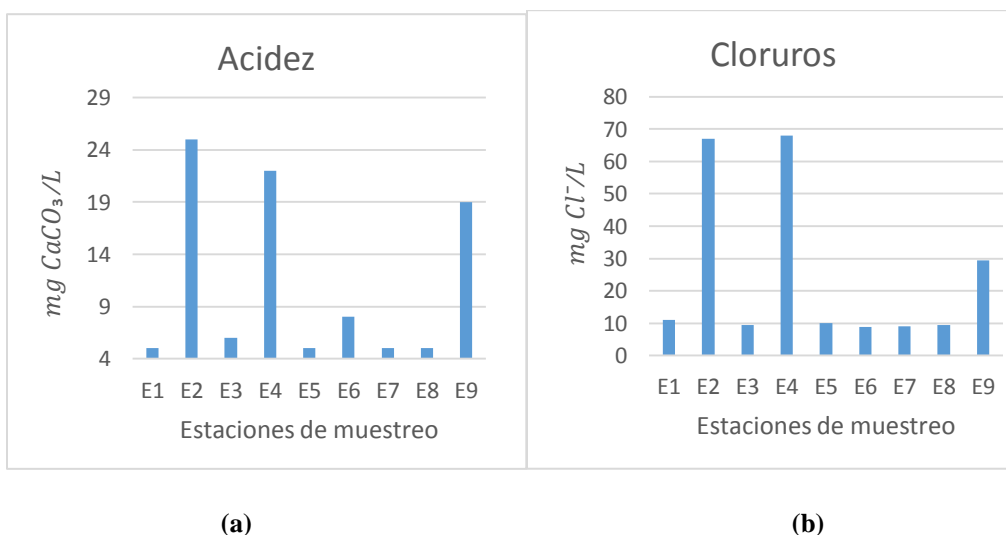


Figura 6. Parámetros fisicoquímicos volumétricos: (a) Variación de la acidez en las estaciones muestreadas, (b) Comportamiento de los cloruros por estaciones.

Nota Fuente: Autor.

❖ Parámetros fisicoquímico independientes

En esta categorización, por decirlo de alguna manera, se encuentran el aluminio, hierro, fosfato, fluoruros, sulfatos y cloro libre.

En relación al aluminio, se puede observar en la Figura 7, la tendencia en los diversos sitios de muestreo. Los resultados mostraron valores muy bajos variando de 0.005 a 0.018 mg/L, a pesar de ello todos están dentro de lo permitido por la legislación Colombiana.

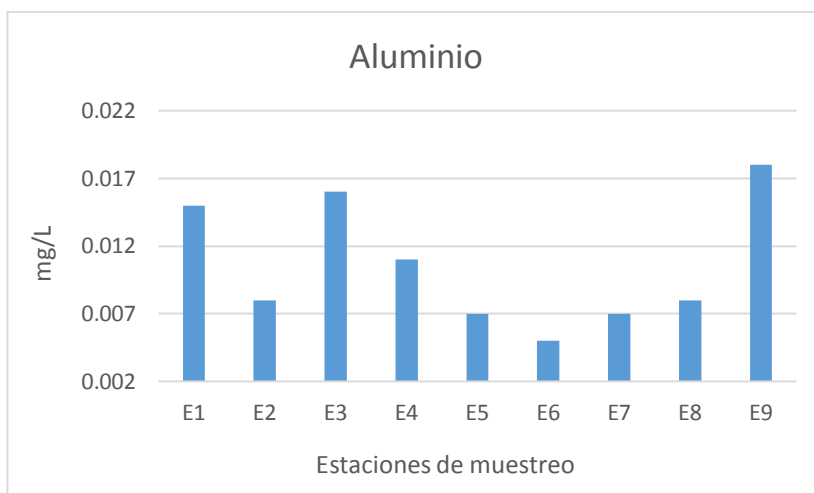


Figura 7. Variación del aluminio en las diferentes estaciones.

Nota Fuente: Autor.

En la Figura 8 se expresan los valores determinados para el hierro, se presentaron fluctuaciones en las estaciones, con mayor presencia de este en la estación siete con 0.03 mg/L, pese a ello el 100% de los puntos se encuentran dentro del valor máximo aceptable.

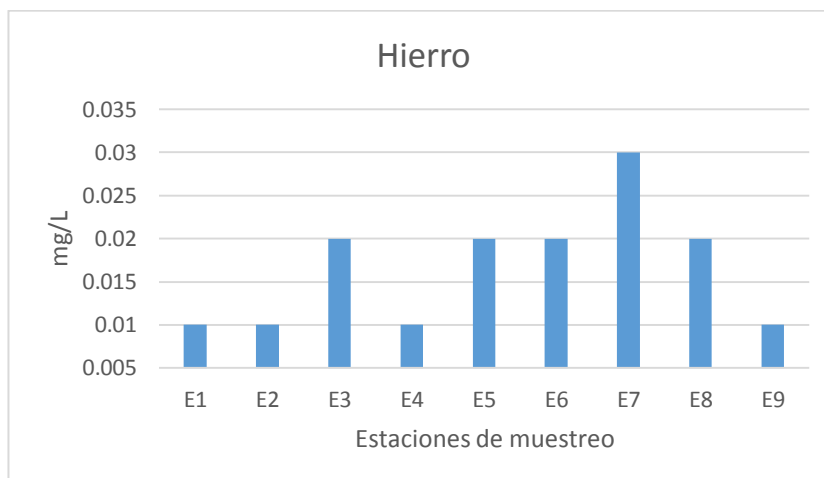


Figura 8. Variación del Hierro en las diferentes estaciones.

Nota Fuente: Autor.

La concentración de fosfato arrojada en los resultados se observan en la Figura 9, cuyo comportamiento es descendente, por decirlo de alguna manera, desde la estación 1 a la 9, donde el 33.33% de las estas exceden el valor límite, 0.5 mg/L que establece la resolución.

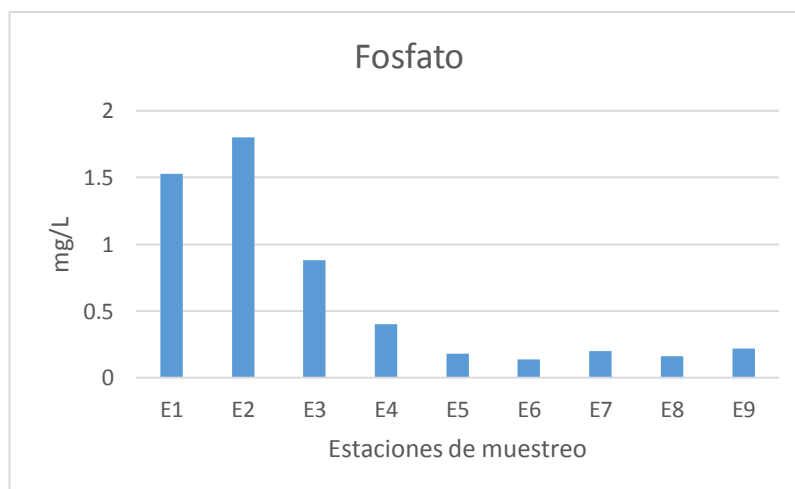


Figura 9. Variación del Fosfato en las diferentes estaciones.

Nota Fuente: Autor.

En la Figura 10, se evidencia la variación de la concentración de fluoruros, siendo 0.0132 mg/l el menor valor y 0.0271 mg/L el mayor, lo que demuestra que ninguna estación excede el límite.

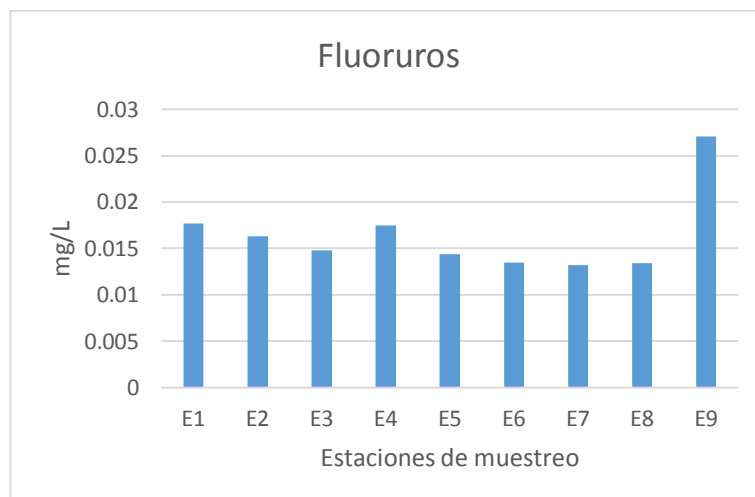


Figura 10. Variación del Fluoruros en las diferentes estaciones.

Nota Fuente: Autor.

De acuerdo a la resolución el valor máximo que puede alcanzar la concentración de sulfatos en el agua de consumo humano, y para uso doméstico es 250 mg/L, los resultados mostraron que estas concentraciones se mantuvieron por debajo de este límite.



Figura 11. Variación de los sulfatos en las estaciones de muestreo.

Nota Fuente: Autor.

Debido a la acción desinfectante del cloro, es usualmente el más utilizado, no cabe duda que en el proceso de purificación del agua para consumirla es un aliado estratégico, ya que permite eliminar bacterias y con una adecuada dosificación continuar su labor hasta el uso final (uso doméstico), de no existir la concentración apropiada de cloro libre en el agua, se genera casos indeseados como por ejemplo olores y sabores desagradables; la Figura 12 muestra los valores obtenidos para este parámetro, estando en todas las estaciones fuera del rango establecido en la resolución 2115.

El rango en el cual variaron las concentraciones de cloro libre fue de 0.02 a 0.03 mg/L.

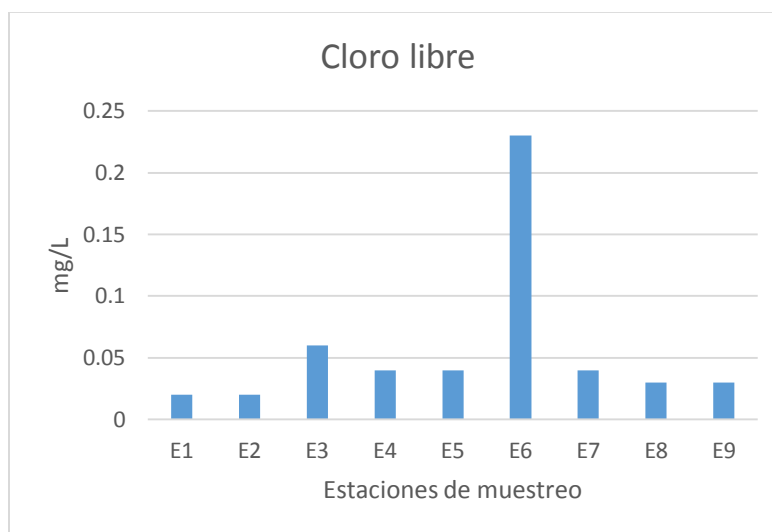


Figura 12. Variación del cloro libre en las estaciones de muestreo.
Nota Fuente: Autor.

Parámetros microbiológicos

Del total de nueve estaciones muestreadas, cuatro de ellas representando el 44.44% tuvieron presencia de coliformes totales como se muestra en la Figura 13. Debido a que la legislación Colombiana es muy clara en establecer los valores máximos aceptables con base al método

utilizado para su determinación, los resultados arrojados conforme al método de filtración por membrana, evidencian que el agua de consumo en estas estaciones no es apta.

En efecto las mismas estaciones presentaron contaminación microbiológica por presencia de coliformes fecales (ver Figura 13). De acuerdo a los resultados la estación con mayor contaminación microbiológica fue la E7, encontrándose para coliformes totales 30 UFC/100 ml y 21 UFC/100 ml en coliformes fecales.

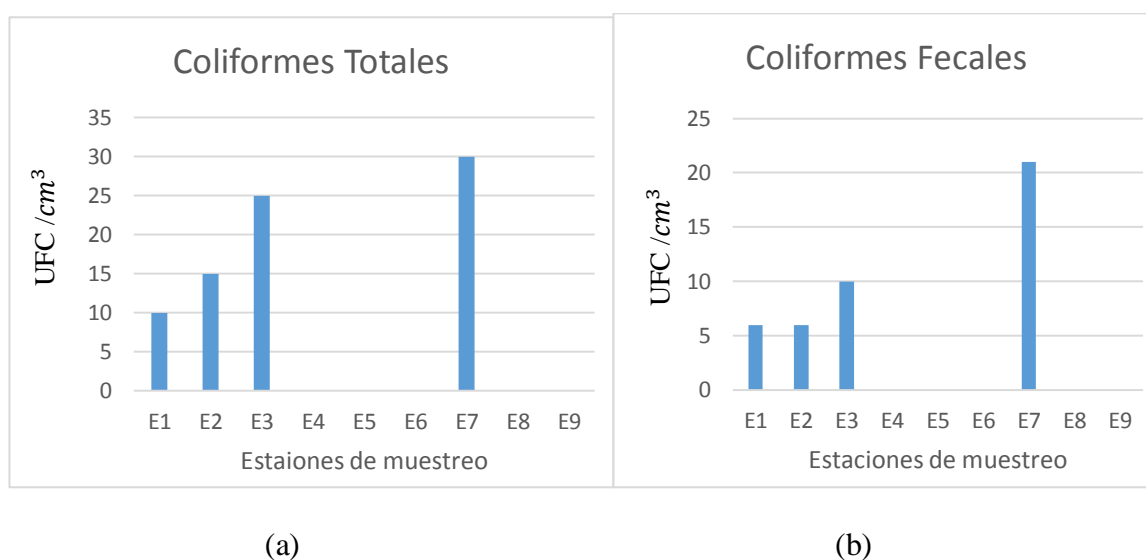


Figura 13. Variación microbiológica del agua en las estaciones de muestreo: (a) variación de coliformes totales, (b) variación de coliformes fecales

Nota Fuente: Autor.

Por otra parte, de manera detallada y resumida se contrastaron los valores obtenidos para los diferentes parámetros analizados en el agua que consume la población del municipio, y los valores máximos aceptables plasmados en la normatividad colombiana, resolución 2115 de 2007, emitida por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial que actualmente es el denominado ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible (ver Tabla 16). Se observa que los valores obtenidos para pH, turbiedad, conductividad, dureza total, sulfatos, cloruros, aluminio, nitrato, color, nitrito, fluoruros y hierro se encuentran por debajo de los valores límites

planteados en la resolución. Sin embargo se evidenciaron estaciones en las que algunos parámetros tales como alcalinidad total, fosfato, coliformes totales y fecales sobrepasan dichos límites para consumo humano. Cabe resaltar que los resultados obtenidos evidencian una falencia en cuanto al porcentaje de cloro residual, ya que en todas las estaciones monitoreadas se encuentran por debajo de 0.3 mg/L.

Tabla 16. Resultados por estación VS valores máximos aceptables para parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidad de medición	Estaciones									Resolución
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Valores Máx. aceptables
pH	Unidades de pH	7.43	7.40	7.45	7.08	7.48	7.05	7.32	7.20	7.55	6.50 - 9.00
Turbiedad	Unidades nefelométrías turbiedad (UNT)	0.92	0.64	1.15	0.09	1.79	1.68	1.45	1.60	0.13	2.00
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	163.10	747.00	165.80	947.00	164.90	158.60	159.50	169.60	660.00	1000.00
Alcalinidad total	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	55.20	273.60	54.40	302.40	59.20	56.80	55.20	57.60	287.20	200.00
Dureza Total	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	67.40	124.20	74.60	145.80	74.20	66.60	67.80	71.80	225.80	300.00
Dureza Cálctica	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	52.80	56.00	60.00	24.00	59.20	53.60	56.00	58.40	16.80	No se menciona
Sulfatos	$\text{mg SO}_4^{2-}/\text{L}$	13.00	10.00	13.00	52.00	13.00	11.00	11.00	13.00	13.00	250.00
Cloruros	$\text{mg Cl}^{-}/\text{L}$	11.00	66.98	9.50	67.98	10.00	8.75	9.00	9.50	29.49	250.00
Acidez	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	5.00	25.00	6.00	22.00	5.00	8.00	5.00	5.00	19.00	No se menciona
Cloro libre	$\text{mg Cl}_2/\text{L}$	0.02	0.02	0.06	0.04	0.04	0.23	0.04	0.03	0.03	0.30 - 2mg/L
Hierro	$\text{mg Fe}/\text{L}$	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.30
Fosfato	$\text{mg PO}_4^{3-}/\text{L}$	1.53	1.80	0.88	0.40	0.18	0.14	0.20	0.16	0.22	0.50
Nitrito	$\text{mg NO}_2^{-}/\text{L}$	0.009	0.059	0.009	0.02	0.016	0.003	0.009	0.009	0.023	0.10
Aluminio	$\text{mg Al}^{3+}/\text{L}$	0.015	0.008	0.016	0.011	0.007	0.005	0.007	0.008	0.018	0.20
Nitrato	$\text{mg NO}_3^{-}/\text{L}$	1.40	0.90	1.29	1.02	0.85	0.79	0.93	1.03	1.15	10.00
Amonio	$\text{mg NH}_4^{+}/\text{L}$	0.05	0.03	0.01	0.44	0.69	0.56	0.72	0.80	1.03	No se menciona
Color	unidades de platino cobalto (UPC)	10.00	10.00	5.00	10.00	12.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00
Materia Orgánica	$\text{mg O}_2/\text{L}$	0.84	0.92	0.68	0.51	0.38	0.5	0.57	0.60	0.90	No se menciona
Fluoruros	$\text{mg F}/\text{L}$	0.018	0.016	0.015	0.018	0.014	0.013	0.013	0.013	0.027	1.00

Para la evaluación microbiológica de la calidad de agua, se muestrearon igualmente nueve estaciones (ver Tabla 17.), donde se observa la presencia de coliformes totales y fecales de mayor magnitud en la estación número siete (E7), excediendo el valor máximo permisible establecido por la norma al realizar dicho análisis por filtración de membrana.

Tabla 17. Resultados por estación VS valores máximos aceptables para parámetros microbiológicos

Parámetro	Unidad de medición	ESTACIONES									Resolución
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Valores máx. aceptables
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	10	15	25	0	0	0	30	0	0	0
Coliformes fecales	UFC/100 cm ³	6	6	10	0	0	0	21	0	0	0

Nota Fuente: Autor.

Por otro lado al comparar los resultados promedio obtenidos en este estudio para cada parámetro fisicoquímico con los reportados por otros investigadores (ver Anexo 5), se puede inferir la variabilidad existente entre países a partir de estos valores, que a pesar de no ser reportados todos, para algunos parámetros es notoria la diferencia numérica entre sí, sin embargo difieren desde el marco legal de referencia; como por ejemplo, en el estudio de Trujillo y otros, el agua evaluada cumple con las leyes mexicanas para consumo humano; pero simultáneamente es notorio que existen parámetros que ellos no consideran relevantes para la determinación de calidad de agua, como lo es el color de la misma (Trujillo et al., 2008).

De acuerdo a Bolaños 2013, en Costa Rica donde fue realizada una investigación que contó con la participación de varias municipalidades y las ASADAS (asociación de acueductos rurales), fue observado el comportamiento del agua potable que utiliza la población,

análisis necesario para el monitoreo periódico de esta, que conlleva a la prevención y seguimiento del recurso hídrico, esta investigación no cumplió los estándares de Costa Rica en términos de pH encontrándose por debajo del valor recomendado, 6.5 unidades de pH (ver Anexo 5), caso muy similar si estos resultados estuviesen bajo la normatividad Colombiana (Bolaños, 2013).

Teniendo en cuenta el estudio realizado en la India, específicamente en los alrededores de la ciudad de Gwalior, donde la fuente principal de obtención de agua para el consumo humano es el agua subterránea, Parihar y colaboradores basándose en los estándares establecidos por la OMS ó WHO, concluyeron que el agua no es apta para su consumo, debido a que en ella encontraron valores que sobrepasan estos estándares, sin embargo los resultados publicados por ellos (ver Anexo 5) que se pueden correlacionar con los del presente estudio, están cercanos entre sí y dentro del rango del valor máximo permisible de la resolución 2115 (Parihar et al., 2012).

Las Islas Eolias, cercanas a Italia, no cuentan con infraestructura que les permita tener un sistema de distribución de agua potable propio, por lo cual es enviado este recurso por medio de camiones cisternas bajo las especificaciones del decreto legislativo 31/2001 emitido por el parlamento Italiano, su resultados mostraron que la calidad de agua que llega a la isla es buena (Proto et al., 2013).

Cabe resaltar que en la tabla de comparación que se realizó (ver Anexo 5), existen muchos parámetros no publicados por los otros autores, por lo que podríamos inferir las diversas formas de evaluar la calidad del agua de consumo humano, priorizando algunos parámetros conforme a la relevancia establecida en la norma por la cual se rigen o en su defecto considerando las variaciones que se pueden presentar de un punto a otro en la zona de estudio.

En cuanto a la comparación de valores promedios para los parámetros microbiológicos de este estudio con los reportados por otros investigadores (ver Anexo 6), es evidente que en el caso de los valores reportados por Trujillo y colaboradores, al estar bajo la normatividad Colombiana generan ambigüedad, ya que el valor arrojado para coliformes tanto fecales como totales es menor de dos unidades de formación de colonias más la normatividad tiene como límite la ausencia de estos parámetros microbiológicos en el agua para consumo humano.

Con el fin de evidenciar las diferencias del marco legal entre países se estableció un cuadro comparativo (ver Anexo 7) de algunos valores para los parámetros fisicoquímicos dados por diferentes estándares, entre los cuales se encuentran el estándar propuesto por la OMS en sus valores guía de 1995, así mismo se tabuló el estándar de Argentina dado por el código alimentario en 1994, el de México de acuerdo con su NOM-127-SSA1 y finalmente como parte de sur América se evidencia el estándar de Colombia establecido por la Resolución 2115 de 2007.

También se encuentra estándares internacionales establecidos por la EPA en Estados Unidos, los estándares Europeos y los Canadienses en los años 1998 y 2004 respectivamente.

En el cuadro comparativo se evidenció que los valores límites dados por estos siete países en parámetros como turbidez o aluminio son iguales en su mayoría o muy próximos entre sí. Sin embargo desde el punto de vista del ámbito internacional, si tomamos como referencia las normatividades marcada por los diversos países, algunos permiten concentraciones o niveles de parámetros específicos en el agua, mientras que otros no tienen directrices como lo es en el caso de la dureza total, lo que permite inferir que no

existe una unanimidad que conlleve a una uniformidad de criterios relacionado con la calidad que debe contar el agua para consumo humano y uso doméstico.

Además de haber analizado los estándares para parámetros fisicoquímicos determinantes de la calidad de agua de un lugar específico, se tabularon los estándares de los mismos siete países, pero esta vez teniendo en cuenta los coliformes totales y fecales como parámetros para determinar la calidad microbiológica del agua potable (ver Anexo 8), con esta tabulación se evidenció, que lo esperado en el agua para consumo humano es la ausencia de unidades formadoras de colonias. Sin embargo existen estándares que permiten una presencia mínima de estas, del orden de 2 a 3 unidades formadoras de colonias (UFC).

Análisis Enfermedades relacionadas con el uso del agua

Según la OMS, el agua, el saneamiento y la higiene tienen consecuencias importantes sobre la salud y la enfermedad. Las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable; enfermedades como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños son algunas de las preocupaciones que enfrenta las organizaciones responsable del cuidado de la salud pública (OMS, 2014).

Teniendo en cuenta el artículo 8, ítem dos del decreto 1575 de 2007, emitido por el ministerio de la protección social, se correlacionó la información de la calidad del agua para consumo humano obtenida mediante los resultados del presente estudio, con la información de morbilidad y mortalidad asociada a este mismo recurso, quizás un poco sesgada, ya que se obtuvo de las estadísticas de un ente donde cuantifican aproximadamente 79% de la población del municipio.

Con base en esas estadísticas se seleccionaron los casos de morbilidad originados por el consumo de agua, estas se tabularon de la siguiente manera:

Tabla 18. Diagnósticos que se han presentado en el periodo 2013-2014

NOMBRE DEL DIAGNOSTICO	Año 2013	Año 2014
Dengue hemorrágico (grave)	2	4
Dengue clásico	41	34
Leptospirosis	8	2
EDA	780	515
Hepatitis B	1	0
Hepatitis A	2	3
Desnutrición	24	4
Cólera	10	19
Fiebre tifoidea	0	10
Síndrome febril	29	2012
Fiebre amarilla	3522	3
Malaria asociada	2	0

Nota Fuente: Autor, basada en estadísticas de hospital en el municipio.

En referencia al cólera, enfermedad causada por la bacteria *Vibrio Cholerae*, las personas se infectan después de ingerir alimentos o agua que ha sido contaminada por las heces de las personas, es decir, puede existir presencia de coliformes parámetro que presentaron el 44.44% de las estaciones muestreadas.

De igual manera la diarrea es un síntoma de infección causada por una serie de organismos bacterianos, virales y parasitarios en su mayoría, los cuales se puede transmitir por el agua contaminada. Es más común cuando hay una escasez de agua limpia para beber y cocinar donde la limpieza y la higiene básica son importantes en la prevención; estas condiciones no son ajenas al municipio, debido a que este no posee un sistema de abastecimiento con

cobertura total y constante en el área urbana, lo que conlleva a un alto porcentaje de la población a almacenar agua en lugares propicios para la incubación de bacterias.

El agua contaminada con heces humanas, caso de este estudio, que se podría atribuir entre otros aspectos a la cercanía con tanques sépticos y letrinas es de especial preocupación. Heces animales también contienen microorganismos que pueden causar diarrea, esto último podría presentarse al momento de consumo de agua no tratada, sino de agua lluvia, practica realizada en muy pocos sectores del municipio, aunque se debe tener en cuenta la higiene de los lugares donde es almacenada el agua de consumo humano, observando las condiciones en las que se encuentra.

A continuación en la Figura 14 se muestra los casos de enfermedades asociadas al agua que se presentaron en menor proporción durante el año 2013 hasta mediados del mes de julio del 2014. Se observó que el dengue clásico fue el diagnóstico con mayor número de casos.

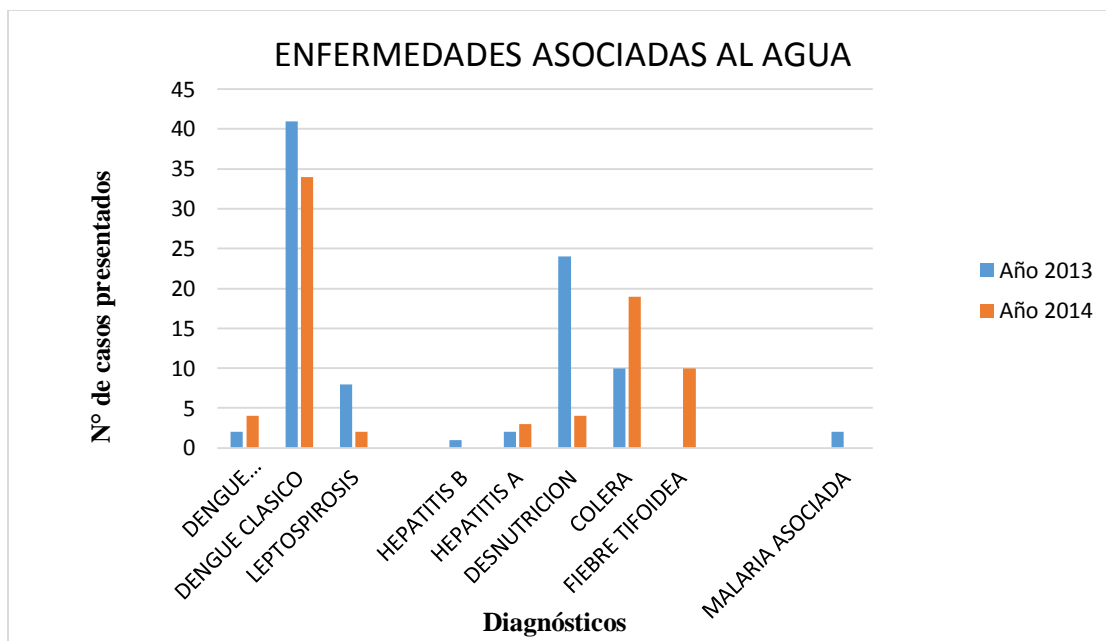


Figura 14. Enfermedades asociadas al agua que se han presentado en menor proporción.

Nota Fuente: Autor.

De la misma forma se observó el número de casos que se presentaron para este mismo periodo, en enfermedades como EDA (enfermedad diarreica aguda), síndrome febril y fiebre amarilla, siendo este último el diagnóstico con mayor casos presentados en el periodo correspondiente al año 2013. Sin embargo este diagnóstico, hasta mediados del mes de julio de 2014 no se había presentado ningún caso de cual se tuviese registro.

Las estadísticas permitieron establecer contrastes entre los 12 diagnósticos que se presentaron en el municipio durante el año pasado y el que va en curso, siendo notorio que para el 2013 el mayor número de casos fue 3522 correspondientes a la fiebre amarilla, mientras que para el año 2014, desde enero hasta julio, se presentaron 2012 casos de síndrome febril.

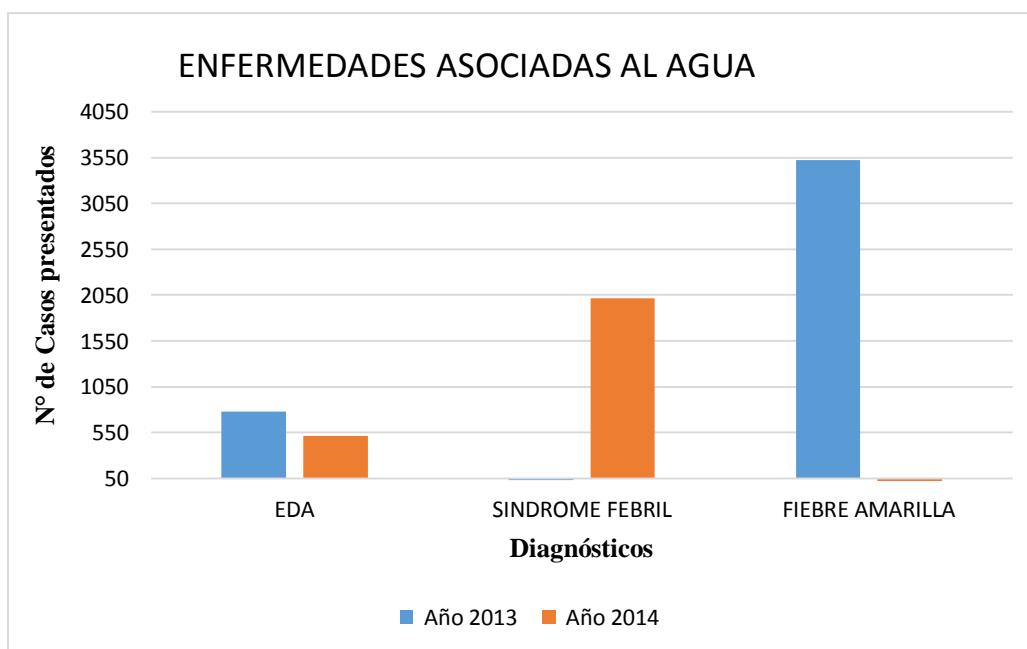


Figura 15. Enfermedades asociadas al agua que se han presentado en mayor proporción.

Nota Fuente: Autor.

Cabe resaltar que tanto las enfermedades que se han presentado con mayor como las de menor proporción tuvieron cambios bruscos de un año a otro, algunos ascendiendo otros en descenso, aunque los diagnósticos gastrointestinales estuvieron relativamente cercanos entre los dos periodos analizados. Por otro lado no podemos inferir a que se deben estas fluctuaciones, debido a que no existe un precedente detallado de la variación de la calidad del agua consumida en Turbaco.

7 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados mostrados, de su análisis y de su discusión, se pueden obtener las siguientes conclusiones, sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Turbaco – Bolívar, Caribe Colombiano:

1. Las muestras de agua potable en los puntos escogidos del municipio para la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos revelaron que existe un déficit en la calidad microbiológica de esta, asociada a parámetros fisicoquímicos como el cloro residual, este parámetro no cumple con los valores mínimos que exige la Resolución 2115 del 2007.

De igual manera la presencia de altas concentraciones de dureza, conductividad y cloruros arrojados en algunas estaciones de muestreo evidencian que parte de la población está consumiendo agua que no es procedente de un tratamiento de potabilización por lo que no es potable. Se concluye lo anterior, debido a que entre otras las concentraciones de dureza superan el rango en el que usualmente se encuentra el agua potable: 45 y 75 $mg CaCO_3/L$,

Este diagnóstico permitió determinar que el agua consumida por los habitantes del municipio procede de distintas zonas. Una parte de la población está haciendo uso de los pozos subterráneos presentes en el municipio, dichas fuentes contienen altos niveles de calcio y magnesio producto de la composición química del terreno, otra parte consume el agua procedente de las plantas de tratamiento, y una última porción está consumiendo el agua procedente de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) municipal pero con post-tratamiento utilizado luego de un almacenamiento prolongado.

2. Al comparar la calidad del agua con los estándares establecidos en la normatividad vigente, se evidenció que el agua de consumo humano no cumple en su totalidad con las condiciones reglamentadas para las características físicas, químicas y microbiológicas, por lo que no es recomendable ingerirla directamente, preparar alimentos o usarla en la higiene personal.

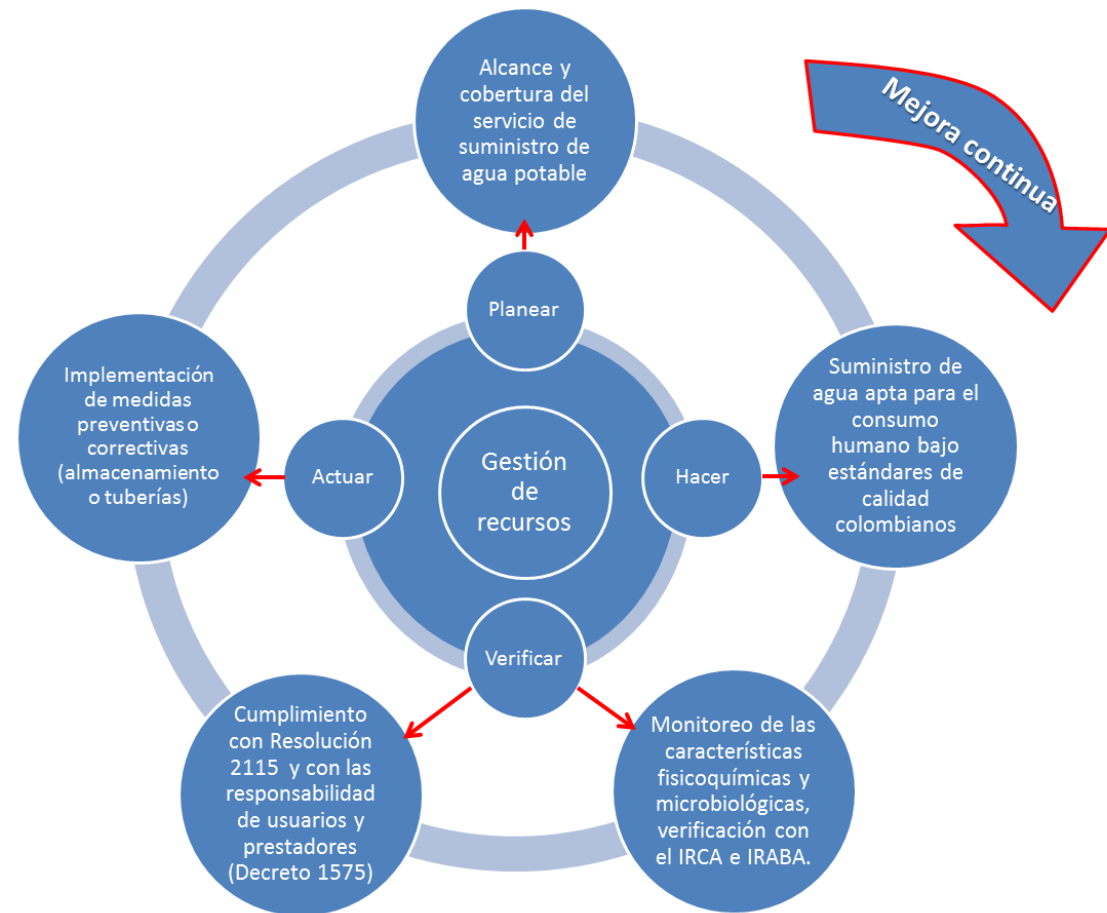
A partir de los análisis microbiológicos es evidente la contaminación del agua analizada, debido a los altos contenidos de coliformes procedentes de materia fecal encontrados en ella. Esta presencia sugiere que la dosificación de cloro no es óptima para la eliminación total de estos microorganismos que alteran la calidad microbiológica del agua, específicamente en términos de coliformes totales y fecales. Este fenómeno puede estar asociado a problemas en los procesos de desinfección o en su defecto en las tuberías de conducción; sin embargo, no se descarta que la presencia de estos últimos este directamente relacionada con infiltraciones, hacia las tuberías o lugares de almacenamiento, producto del sistema de disposición de aguas residuales domésticas, para este caso, pozos sépticos, cuyo efecto adverso se observa en el deterioro de la salud pública del municipio constatado en las estadísticas de enfermedades registradas periódicamente en él.

3. De acuerdo a la variación espacial en la cual se enmarco el estudio, se pudo evidenciar que la alcalinidad total, conductividad, dureza, acidez y cloruros fueron parámetros que aumentaron considerablemente en las algunas estaciones, lo que sugiere la presencia de sólidos en el agua analizada. Dicha presencia se puede aludir a factores relacionados directamente con el bombeo no constante, ya que este no genera la auto limpieza intrínseca al diseño de una tubería a presión, sino que crea un escenario optimo en el quedan muchos sedimentos depositados dentro de la tubería, y cada vez que se realiza un nuevo bombeo, sin medidas de aseguramiento: lavado de la tubería etc., los sedimentos acumulados del proceso anterior son arrastrados y conducidos a través de toda la red de distribución, ocasionando que los

barrios que tiene una ubicación más alejada de la estación de bombeo reciben gran parte de este arrastre de sedimentos por la red de abastecimiento. El efecto del cloro muy probablemente se ve afectado estos sólidos y elementos presentes en el agua, ya que según la organización panamericana de la salud (OPS) conjuntamente con la organización mundial de la salud (OMS) aluden que el cloro purifica el agua al destruir la estructura celular de los organismos, sin embargo, este procesos solo funciona si el cloro entra en contacto directo con los microorganismos; si el agua contienen lodo, las bacterias se pueden esconder en este y no son alcanzadas por el cloro.

4. De acuerdo a la relación existente entre algunas enfermedades y el suministro de agua potable salubre, se estima que enfermedades que se están presentando en el municipio podrían estar asociadas al consumo de agua, lo que conlleva a plantear una herramienta de gestión ambiental para la optimización y monitoreo de la calidad del agua, mediante la cual se asuman las responsabilidades tanto para los usuarios como para las personas prestadoras del servicio, establecidos en el decreto 1575 de 2007, con el objetivo de prevenir un aumento en los índices de morbilidad y mortalidad. Esta herramienta de gestión se propone de la siguiente manera:

**SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD (SGC) PARA AGUA POTABLE EN
TURBACO BOLÍVAR, CARIBE COLOMBIANO**



Con base a la estructura fundamental de un sistema de gestión de calidad (SGC), se realizó un sistema que busca garantizar los estándares colombianos en materia de agua potable para consumo humano. Este sistema, antes graficado, muestra una serie de actividades que se deben realizar o si en su defecto son realizadas actualmente en el municipio, implementar la mejora continua en ellas.

El sistema inicia con la planeación del alcance y la cobertura que el servicio suministrado a los habitantes debe tener, teniendo en cuenta como mayor cumplimiento la calidad de este antes, durante y después del proceso, hasta su destino final: consumo de los individuos, seguidamente busca que este suministro sea apto para tal fin, como referencia para ello el cumplimiento de la resolución 2115 de 2007; esto nos lleva a la siguiente etapa del sistema que establece la verificación de lo planeado. En esta etapa se propone realizar los monitorios exigidos en la normatividad para observar el comportamiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua que está consumiendo la población, luego de observar el diagnóstico de estas características utilizar el índice de calidad que serán el IRCA y el IRABA, índice de riesgo de calidad de agua e índice de riesgo por abastecimiento de agua respectivamente, así mismo en esta etapa de verificación se debe monitorear las responsabilidades establecidas tanto para los usuarios como para los prestadores del servicio enumeradas en el decreto 1575 de 2007, luego de obtener resultados en esta etapa, se implementa la fase de actuar que consta de medidas correctivas o preventivas que dependerán de la variación de los índices de calidad con respecto al límite que se establezca en el SGC, enfocado principalmente al almacenamiento y tuberías actuales debido al suministro no constante de agua potable que se presenta en el municipio.

8 RECOMENDACIONES

Luego de terminar esta etapa de la investigación, que representa una línea base en el campo de la investigación de futuros proyectos, mediante la utilización de estudios y herramientas propuestas por otros autores a nivel nacional e internacional, recomendamos tener en cuenta los siguientes estudios y consideraciones con el fin de plantear posibles soluciones a la problemática local que nos rodea, haciendo énfasis en la calidad del agua de Turbaco.

- Realizar estudios para determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en las etapas de tratamiento de la planta de potabilización y/o en los tanques de almacenamiento temporales del agua a suministrar, con el fin de obtener información que lleve al punto donde inicia el problema.
- Evaluar la dosificación de cloro suministrada al proceso de potabilización y el desgaste de este a lo largo de las tuberías, para garantizar el cloro residual en el uso final del agua para consumo.
- Indagar y estudiar la relación que existe entre el material de las tuberías correspondientes a las redes de distribución y la dosis óptima de cloro, para tomar medidas preventivas o correctivas en cuanto a las reacciones cloro- material tubería y posible disminución de la concentración de este que conlleve a un déficit en el poder desinfectante y eliminador de bacterias de este agente.
- Establecer planes de manejo y de seguimiento y monitoreo para los equipos utilizados durante el proceso, desde la fuente de captación hasta la distribución para su uso final.

- Proponer e implementar sistemas de monitoreo, para controlar el grado de contaminación que pueda estar sufriendo el agua debido a la influencia de pozas sépticas cercanas a las redes de distribución.
- Implementar y desarrollar un sistema de gestión de calidad del servicio de agua de consumo suministrada al municipio, cuyos índices de calidad sean el índice de riesgo de la calidad de agua para consumo (IRCA) y el índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano (IRABA).
- Estudiar la posibilidad de diseño e implementación de un sistema de alcantarillado con el fin de evitar infiltraciones actuales, por la carencia de este servicio de saneamiento básico, en las redes de distribución de agua potable cuando en estas por el suministro inconstante y por factores propios de la topografía del municipio se generen sifones que propician disminución de la calidad del agua en las viviendas.

9 REFERENCIAS

- Acevedo, D.; Granados, C.; y Torres, R. (2014). Caracterización Reológica del Suero Costeño de Turbaco, Arjona, El Carmen de Bolívar y uno Comercial (Colombia). *Información tecnológica*. 25(3), 3-10.
- Alba, J.; Ortega, J.; Álvarez, G.; Cervantes, M.; Ruiz, E.; Urtiz, N. y Martínez, A. (2013). Riesgos microbiológicos en agua de bebida: una revisión clínica. *Química Viva*. 12(3), 215-233.
- Álvarez, I.; Sam, O. y Reynaldo, I. (2005). Cambios inducidos por el aluminio en la morfogénesis radicular del arroz. Cuba. *Cultivos tropicales*. 26(1), 21-25.
- Álvarez, J.; Panta, J.; Ayala, C. y Acosta, E. (2008). Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. *Información tecnológica*. 19(6), 21-32.
- APHA. (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewaters, 22 th edition. American Public Health Association and American Water Works Association. Washington.
- Arango, M.; Alvares, L.; Arango, G.; Torres, O. y Monsalve, A. (2008). Calidad del agua en las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. Medellín, Colombia. *Revista EIA*. 9, 121-141.
- Área de estudio Alcaldía de Turbaco (sin fecha) Recuperado de http://www.turbacobolivar.gov.co/informacion_general.shtml#geografia. Consultado el 15 de julio de 2014.
- Ayora, M. (2010). Análisis de agua. En A. D. Universidad Jaen (Ed.) *Archivos Química Analítica Ambiental*. Recuperado de http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf. Consultado el 15 de julio de 2014.

- Baldó, F.; Cuesta, J.; Fernández, C. y Drake, P. (2005). Efecto de la regulación del caudal del Río Guadalquivir sobre las características fisicoquímicas del agua y la macro fauna acuática de su estuario. *Ciencias Marinas*. 31(3), 467-476.
- Baccaro, K.; Degorgue, M.; Lucca, M.; Picone, L. y Zamuner, E. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar de Plata. Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 35(3), 95-110.
- Benítez, B.; Ferrer, K.; Rangel, L.; Ávila, A.; Barboza, Y. y Levy, A. (2013). Calidad microbiológica del agua potable envasada en bolsas y botellas que se venden en la ciudad de Maracaibo. Estado Zulia, Venezuela. *Multiciencias*. 13(1), 16-22.
- Blanco, J.; Blanco, M.; Blanco, JE.; Mora, A.; Alonso, M.; González, E. y Bernárdez, M. Enterobacterias: características generales. Género *Escherichia* In: Manual de Microbiología Veterinaria, Vadillo S, Píriz S, Mateos E. Eds. *McGraw-Hill Interamericana España*. 301-325.
- Bolaños, J. (2013). Implicaciones del monitoreo periódico de la calidad del agua potable en el cantón de Grecia, Alajuela, Costa Rica. InterSedes. *Revista de las Sedes Regionales*. XIV (28), 39-53.
- Briñez, K.; Guarnizo, J. y Arias, S. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 30(2), 175-182.
- Castillo, A.; Osorio, Y. y Vence, L. (2009). Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas ubicadas en los municipios La paz y San Diego, Cesar. *Tesis en microbiología*. Universidad popular del Cesar. Valledupar, Colombia.
- Cerezo, J. (2011). Estación depuradora de aguas residuales. *Proyecto final Ingeniería Técnica Industrial especialidad Química*. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Cogollo, J. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del Hidroxicloruro de Aluminio. Colombia. *Dyna*. 78(165), 18-27.

- Cutimbo C. (2012). Calidad bacteriológica de las aguas subterráneas de consumo humano en centros poblados menores de la Yarada y los palos del distrito de Tacna. *Tesis en biología-microbiología*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Perú.
- De la Mora, C.; Flores, E. y Chávez, A. (2013). Calidad del agua del embalse de la presa la Vega y su impacto en las tierras agrícolas bajo riego. *Libro Técnico 6*. Centro de Investigación Regional Pacifico Centro. Jalisco, México.
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DAES). (2014). *Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005 – 2015*.
- Donnenberg MS. (2002). Introduction. In: *Escherichia coli: Virulence Mechanisms of a Versatile Pathogen*. Elsevier Science Inc. USA. XXI-XXV.
- Espinosa, T. y González, V. (2009). Factibilidad de la implementación de desinfección por ozono para la potabilización del agua en la planta de tratamiento potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga de la ciudad de Valencia, estado Carabobo. Venezuela. *INGENIERIA UC*. 16(3), 51-57.
- Erdal, U.; Erdal, Z; Randall, C. (2003). A thermal adaptation of bacteria to cold temperatures in an enhanced biological phosphorus removal system. *Water Sci. Technol.* 47, 123-128.
- Faleiro, P. (2009). Formación de biopelículas por *Escherichia coli* y su correlación con factores de virulencia: prevención y actividad de antimicrobianos frente a organismos planctónicos y asociados a biopelículas. *Tesis Doctoral*. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Fernández, N. (2005). Estudio de la concentración de nitratos, nitritos, y amonio en el agua de consumo del partido de Moreno- Provincia de Buenos Aires. *Trabajo de investigación de grado en ingeniería ecológica*. Universidad de Flores. Argentina.
- Fernández, C. y Vázquez, Y. (2006). Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. Cuba. *Minería y Geología*. 22(13), 1-9.

- García, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 6, 27-36.
- García, A.; Reyes, M.; Alvarado, A.; González, L.; Antuna, D.; Vásquez, E.,(...) y Benavidez, A. (sin fecha). Cloruros totales en el agua de abastecimiento. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, unidad Durango (CIIDIR IPN Durango). Durango, México.
- García, M. (2013). Protocolo para la determinación de Amonio. Universidad de la Guajira. Colombia.
- Gramajo, B. (2004). Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala. *Tesis de grado en Ingeniería Química*. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Grijalva, M.; Barba, M. y Laborín, A. (2001). Ingestión y excreción de fluoruros en niños de Hermosillo, Sonora, México. *Salud Pública de México*. 43(2).
- Gómez, E. (2011). Control analítico de los parámetros de una EDAR. *Proyecto de grado Química Industrial*. Universidad de Zaragoza. España.
- Gómez, N. (2005). Remoción de materia orgánica por Coagulación – Floculación. *Trabajo de grado monográfico Ingeniería Química*. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Hernández, L.; Chamizo, H. y Mora, D. (2011). Calidad del Agua para Consumo Humano y salud: dos Estudios de Caso en Costa Rica. *Rev. Costarric. Salud pública*.20(1), 25-30.
- ISBN: 978-958-13-0147-8. (2011). Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Instituto Nacional de Salud. Bogotá, Colombia.

- Jiménez, B. & Galizia, J. (2012). Diagnóstico del agua en las Américas. *Foro consultivo científico y tecnológico, AC*. Red Interamericana de academias de ciencias. México.
- Kiely G. (2003). Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. *Editorial Mc Graw Hill*.
- Latorre, O.; Farías, J.; Guerra, J.; Abad, A.; Rodríguez, J. y Fleitas, S. (2010). Estudio de la calidad sanitaria de las aguas del Delfinario de Varadero, para uso recreativo. *Rev. Med. Electrón.* 32(3).
- Marín, B., Martín L., Garay, J., Troncoso, W., Betancourt, J., Gómez, M., (...) & Vélez, A. (2003). Sistema de Indicadores de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia - SISCAM. Programa Calidad Ambiental Marina. *Informe Técnico Final*. INVEMAR. Colombia.
- Mejía M. (2005). Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El limón, San Jerónimo, Honduras. *Tesis en Magister Scientiae en manejo integrado de cuencas hidrográficas*. CATIE (centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Costa Rica.
- Mendoza, C. (2007). El dilema ético de la fluoración del agua potable. *Revista médica de Chile*. 135(11), 1487-1493.
- Metcalf & Eddy. (1997). Ingeniería de aguas residuales. Tercera edición. Tomo 1. *Editorial McGraw Hill*. España.
- Milán, W.; Caicedo, O. y Aguirre, N. (2011). Quebrada La Popala: un análisis de calidad del agua desde algunas variables fisicoquímicas, microbiológicas y los macro invertebrados acuáticos. *Revista Gestión y Ambiente*. 14(1), 85-94.
- Ministerio de Protección Social & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 2115. Bogotá, Colombia.

- Minaverri, C. (2014). Análisis Jurídico Sobre la Calidad del Servicio del Agua en Buenos Aires. *Revista Ambiente & Agua*. 9 (1), 173-183.
- Molinero, M. (2009). Determinación de la dureza del agua por el método complexométrico en ciclos formativos. *Innovación y experiencias educativas*. 17, 2.
- Montoya, Y. y Aguirre, N. (2013). Dinámica fisicoquímica de las aguas de un sistema de planicies inundables tropicales. *Revista Facultad de Ingeniería*. (69), 256-273.
- 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. Medellín, Colombia. *Revista EIA*. 16, 137-148.
- Mora, V. y Cedeño, J. (2006). Determinación fisicoquímica y bacteriológica del agua en las etapas de tratamiento en planta de potabilización. *Revista UCT*. 10(37).
- Moreno, E.; Ibañez, S. y Gisbert, J. (sin fecha) Sulfatos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia. Venezuela.
- Murillo, D. (2011). Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. *Trabajo de grado Química Industrial*. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Norma oficial Mexicana NMO-AA-036-SCFI-2001. Análisis de agua (2001) Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (*cancela a La NMX-AA-036-1980*). *Secretaría de Economía de los Estados Unidos Mexicanos*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/noticias/nmx-aa-036-scfi-2001.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías para la calidad del agua potable 2006. Primer apéndice a la tercera edición volumen I. pág. 11-22. Recuperado de: <http://www.scribd.com/doc/22228198/Guias-Para-La-Calidad-Del-Agua-Potable-OMS>

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2009). Medición del cloro residual en el agua. *Guía técnica*. 11. Recuperado en <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>. Consultado el 15 de Julio de 2014.
- Ormaza, C. (2011). Desinfección solar en el agua del río Tomebamba. *Monografía Ingeniería Civil*. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Paez, L. (2008). Validación secundaria del método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de agua para consumo humano analizadas en el laboratorio de salud pública del Huila. Trabajo de grado Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.
- Palacio, A.; Rodríguez, M. y Barajas, G. (2011). Tratamiento electrostático (ESP) del agua para riego. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
- Panno, S.; Hackley, K.; Hwang, H.; Greenberg, S.; Krapac, I.; Landsberger, S. and O'Kelly, D. (2006). Characterization and identification of Na-Cl sources in ground water. *Ground Water*. 44(2), 176–187.
- Parihar, S.; Kumar, A.; Gupta, R.; Pathak, M.; Shrivastav, A.; Pandey, A. (2012). Physico-chemical and microbiological analysis of underground water in and around Gwalior city, MP, India. *Research journal of recent sciences*. 1(6), 62-65.
- Pfaller S. (2014). Innovative Methods for Determining the Microbiological Quality of Drinking Water Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Comprehensive *Water Quality and Purification*. 2.
- Pinos, M.; Pizarro, K. y Pomavilla, J. (2011). Organización y calidad del agua de consumo humano y salud, sistema de agua Tarquí – La Victoria del Portete. Tesis Medicina. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Proto, A.; Zarrella, I.; Capacchione, C.; Motta, O. (2013). One-year surveillance of the chemical and microbiological quality of drinking water shuttled of the Eolian Islands. *Water open access*. 6, 139-149.

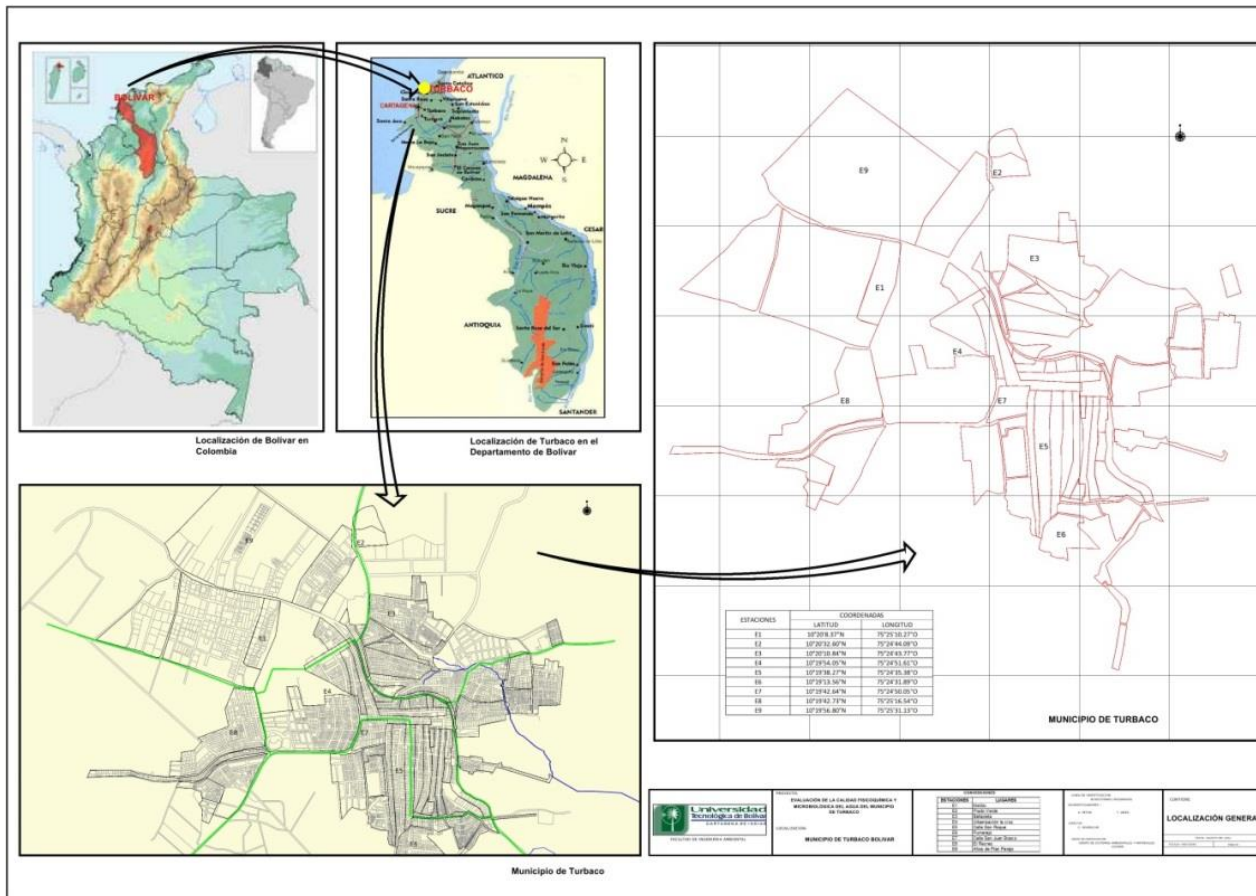
- Ramírez, E.; Robles, E.; Sainz, M.; Ayala, R. y Campoy, E. (2009). Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 25(4), 247-255.
- Ramos, C. (2011). Presencia de coliformes totales y fecales en el agua del río Matlacobalt, Xico, México. *Tesis Biología*. Universidad Veracruzana. México.
- Rivera, N.; Encina, F.; Palma, R. y Mejias, P. (2009). La Calidad de las Aguas en el Curso Superior y Medio del Río Traiguén: IX Región-Chile. *Información tecnológica*. 20(4), 75-84.
- Robles, E.; Ramírez, E.; Durán, Á.; Martínez, M. y González, M. (2013). Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua del acuífero tepalcingo-axochiapan, Morelos, México. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 4(1), 19-28.
- Rodas A. (2010). Evaluación de la calidad fisicoquímica, bacteriológica y medición del caudal en agua de pozos para consumo humano, del casco urbano del municipio de Chiquimula. *Proyecto de investigación PIURNA*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Rodríguez, R.; Martínez, C.; Hernández, D.; De Lucas, J. y Acevedo, M. (2003). Calidad del agua de fuentes de manantial en la zona básica de salud de Sigüenza. Guadalajara, Mexico. *Revista Española de salud pública*. 7(3), 423-432.
- Roldan A. (2006). Determinación de la calidad físico- química y bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa. *Tesis en química bióloga*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Romero R. (2002). Calidad del Agua. *Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería*, 1ª Edición. Bogotá, Colombia.
- Romero, S.; García, J.; Valdez, B. & Vega, M. (2010). Calidad del Agua para Actividades Recreativas del Río Hardy en la Región Fronteriza México-Estados Unidos. *Información tecnológica*. 21(5), 69-78.

- Romeu, B.; Larrea, J.; Lugo, D.; Rojas, N. y Heydrich, M. (2012). Calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó, La Habana, Cuba. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. 43(3).
- Ros, A. (2011). El agua, calidad y contaminación (1/2). Mailxmail. España.
- Sardiñas, O.; García, M.; Castillo, I. y Fernández, M. (2008). Evaluación físico-química del agua de depósitos positivos a focos de *Aedes aegypti*. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 46(2).
- Sacchetti R.; De Luca, G.; Dormi, A.; Guberti, E. y Zanetti, F. (2014). Microbial quality of drinking water from microfiltered water dispensers. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 217 (2–3), 255-259.
- Severiche, C. y Gonzalez, H. (2012). Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en agua por método turbidimétrico modificado. Colombia. *Ing. USBMed*. 3(2).
- Severiche, C.; Castillo, M. y Acevedo, R. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. *Eumed.net*. Cartagena, Colombia.
- Singler, A. y Bauder, J. (2012). Hierro o Fierro Total. Universidad Estatal de Montana. *Northern Plains & Mountains*. Estados Unidos.
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE). (2013). El hierro. *Informe quincenal de la SNMPE*.
- Talarico, C. (2007). Catedra Ingeniería Sanitaria. Universidad tecnológica nacional de Buenos Aires. Argentina
- Torres, Patricia, Cruz, Camilo Hernán, y Patiño, Paola Janeth. (2009). Índices de Calidad de Agua en fuentes superficiales utilizadas en la Producción de Agua para Consumo Humano: Una Revisión Crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 8(15), 79-94.

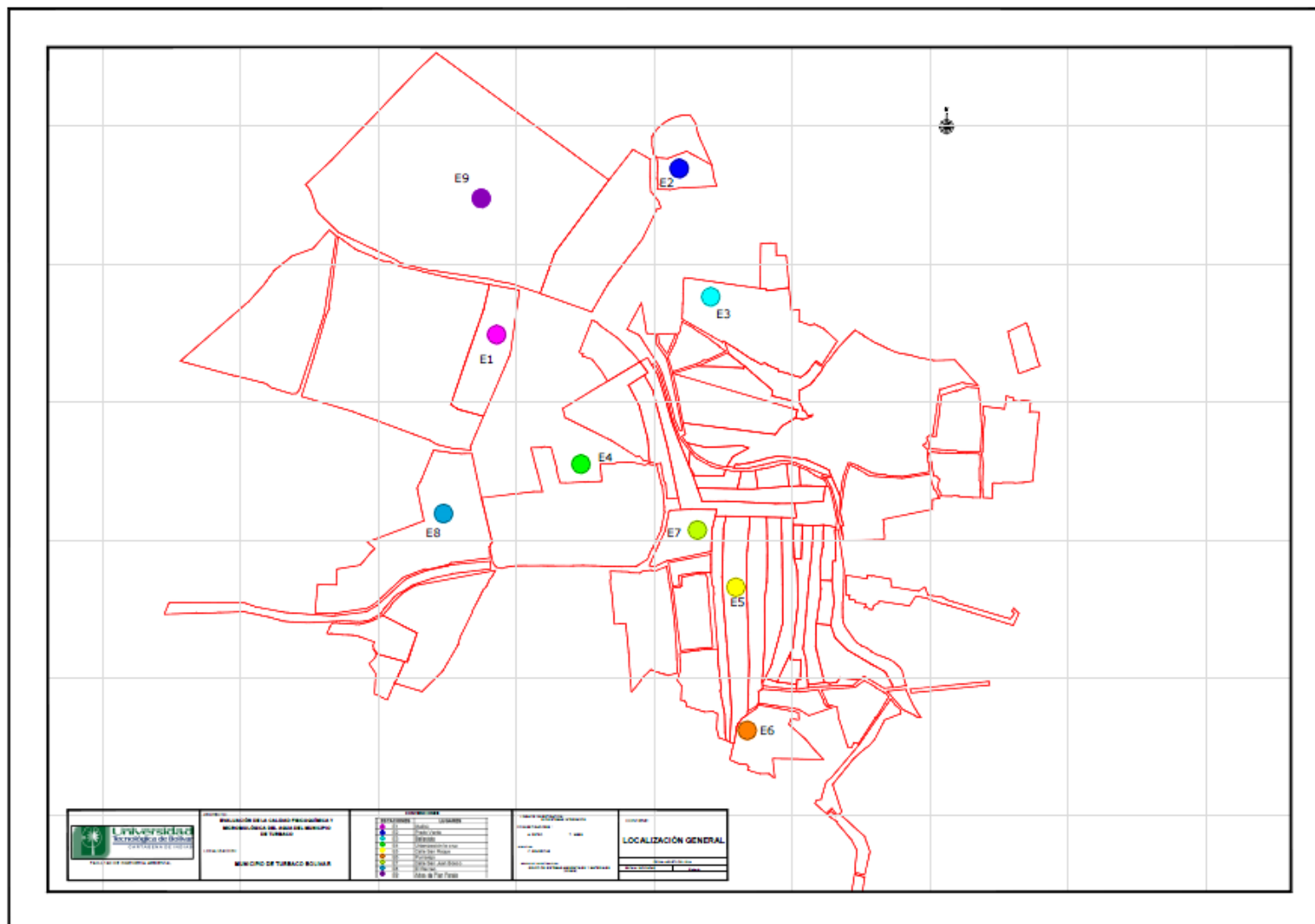
- Trujillo, D.; Duque, L.; Arcila, J.; Rincón, A.; Pacheco, S. y Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. Manizales, Colombia. *Revista ION*. 27(1), 17-34.
- Trujillo, E.; Martínez, V.; Flores, N. (2008). Ajuste del equilibrio químico del agua potable con tendencia corrosiva por dióxido de carbono. México. *Información tecnológica*. 19(6), 89-101.
- Vázquez, S. (2009). Análisis de la puesta en operación de la planta tratadora de agua residual de la terminal refrigerada pajaritos. Tesis Ingeniería Química. Universidad Veracruzana. Mexico.
- Yan, L., Yinguang, C. and Qi, Z. (2007). Effect of initial pH control on enhanced biological phosphorus removal from wastewater containing acetic and propionic acids. *Chemosphere*. 66, 123-129.

10 ANEXOS

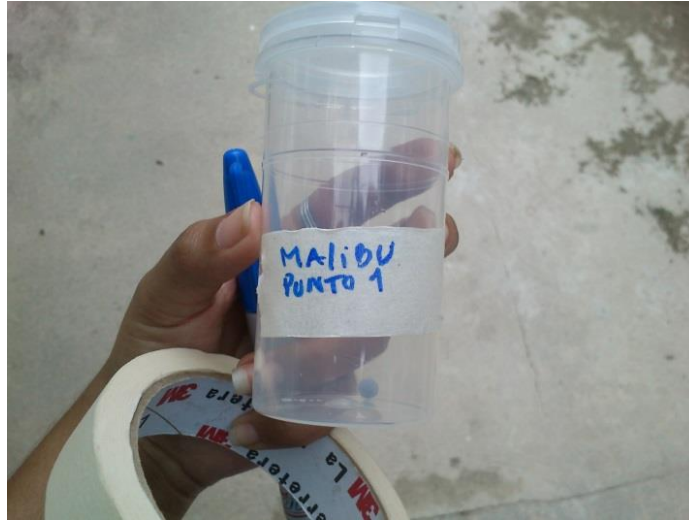
ANEXO 1 MAPA INTEGRADO COLOMBIA, TURBACO (BOLIVAR)



ANEXO 2 MAPA DE TURBACO (BOLIVAR) PUNTOS DE MUESTREO



ANEXO 3 ROTULACIÓN DE ENVASES



ANEXO 4 MUESTREO MICROBIOLÓGICO - PASTILLA DE TIOSULFATO DE SODIO



ANEXO 5 COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIO PARA PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN AGUA

POTABLE

VALORES PROMEDIO PARA PARAMETROS FISICOQUÍMICOS EN AGUA DE CONSUMO HUMANO A NIVEL MUNDIAL						
Parámetro	Unidad de Medición	Valor promedio Petro/Wees 2014	Valor promedio Trujillo et al. 2008 en México	Valor promedio Bolaños 2013 en Costa Rica	Valor promedio Parihar et al. 2012 en India.	Valor promedio Proto et al. 2013 en Islas Eolias.
pH	Unidades de Ph	7.33	7.07	6.37	8.03	7.9
Turbiedad	Unidades nefelometrías de turbiedad (UNT)	1.05	No	0.07	No	No
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	370.61	23.67	115.70	2454.00	812.00
Alcalinidad total	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	133.51	87.90	37	No	No
Dureza Total	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	102.02	66.87	32.77	243	35.50
Dureza Cálctica	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	48.53	No	20.54	No	No
Sulfatos	$\text{mg SO}_4^-/\text{L}$	16.56	16.15	No	No	No
Cloruros	$\text{mg Cl}^-/\text{L}$	24.69	8.0	No	No	52.68
Acidez	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	11.11	8.07	No	No	No
Cloro libre	$\text{mg Cl}_2/\text{L}$	0.06	1.25	No	No	No
Hierro	$\text{mg Fe}/\text{L}$	0.02	<0.80	0,50/1,20	No	3.00
Fosfato	$\text{mg PO}_4^{3-}/\text{L}$	0.61	0.03	No	No	No
Nitrito	$\text{mg NO}_2^-/\text{L}$	0.02	0.002	No	No	<0.02
Aluminio	$\text{mg Al}^{3+}/\text{L}$	0.01	No	No	No	4.00
Nitrato	$\text{mg NO}_3^-/\text{L}$	1.04	0.75	No	No	10.00
Amonio	$\text{mg NH}_4^+/\text{L}$	0.48	No	No	No	<0.02
Color	Unidades de platino cobalto (UPC)	9.67	No	No	No	No
Materia Orgánica	$\text{mg O}_2/\text{L}$	0.66	No	No	No	No
Fluoruros	$\text{mg F}/\text{L}$	0.02	No	No	No	0.14

ANEXO 6 COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIO PARA PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUA POTABLE

VALORES PROMEDIO PARA PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUA DE CONSUMO HUMANO A NIVEL MUNDIAL						
Parámetro	Unidades	Valor promedio Petro/Wees 2014	Valor promedio Ttrujillo et al. 2008 en México	Valor promedio Bolaños 2013 en Costa Rica	Valor promedio Parihar et al. 2012 en India.	Valor promedio Proto et al. 2013 en Islas Eolias.
Coliformes totales	(variable mirar cada	8.89	< 2.00	Presencia	836.00	No
Coliformes fecales	valor)	4.78	< 2.00	Ausencia	Positivo	No

ANEXO 7 ESTÁNDARES FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE

ESTANDARES FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE EN ALGUNOS PAÍSES								
Parámetro	Unidades	Estandares de la OMS	Estandares Europeos	Estandares USA	Estandares Argentina	Estandares Canadá	Estandares Mexico	Estandares Colombia
pH	unidades de pH	No hay directriz	0,2 mg/L	6.5 a 8.5	8.5	8.5	8.5	6.5 - 9.0
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)	5	Aceptable para los consumidores y sin cambios anormales	5	3	5	5	2
Conductividad	µs/cm	200	2500 µs/cm en 20°C	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	1000
Alcalinidad total	mg/L	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	400	200
Alcalinidad a la fenolftaleína	---	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona
Dureza Total	mg/L	No hay directriz	No se menciona	No se menciona	400	500	300	300
Dureza Calcica	----	No hay directriz	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona
Sulfatos	mg/L	500	250	250	400	500	400	250
Cloruros	mg/L	250	250	250	350	250	No se menciona	250
Acidez	----	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona
Cloro libre	mg/L ó µg/L	No se menciona	No se menciona	No se menciona	0.2 µg/L	No se menciona	1µg/L	0.3 - 2mg/L
Hierro	mg/L	No hay directriz	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Fosfato	mg/L	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	0.5
Nitrito	mg/L	3	0.5	1	0.1	3.2	1	0.1
Aluminio	mg/L	0.2	0.2	0.05 a 0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
Nitrato	mg/L	50	50	10	45	45	10	10
Amonio	----	No hay directriz	0,50 mg/L	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona
Color	unidades de color	15	Aceptable para los consumidores y sin cambios anormales	15	5	15	20 UCV	15
Materia Organica	----	No hay directriz	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona	No se menciona
Fluoruros	mg/L	1.5	1.5	2	1.7	1.5	1.5	1

ANEXO 8 ESTÁNDARES MICROBIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE EN ALGUNOS PAÍSES

ESTANDARES MICROBIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE EN ALGUNOS PAÍSES								
Parámetro	Unidades	Estandares de la OMS	Estandares Europeos	Estandares USA	Estandares Argentina	Estandares Canadá	Estandares Mexico	Estandares Colombia
Coliformes totales	UFC/100ml (variable mirar cada valor)	0UFC/100ml	0/100ml	5.0%-muestras /mes	3UFC/100ml	0UFC/100ml	2UFC/100ml	0UFC/100 cm^3
Coliformes fecales		0UFC/100ml	0 en 250ml		0UFC/100ml	0UFC/100ml	0UFC/100ml	0UFC/100 cm^3