



Calidad del agua potable: un caso de estudio hacia el desarrollo humano sostenible, municipio de María La Baja, Colombia

Rafael Fernando Oyaga Martínez^a, Ligia Cielo Romero Marín^a & Jairo Antonio Enamorado Estrada^b

^a Facultad de Derecho, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia.

royaga@cuc.edu.co, lromero11@cuc.edu.co

^b Facultad Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.

jenamorado@unisimonbolivar.edu.co

Recibido: Octubre 21, 2018.

Recibido en su versión corregida: Diciembre 05, 2018.

Aceptación: Enero 16, 2019.

Cómo citar: Oyaga Martínez, R.F., Romero Marín, L.C. & Enamorado Estrada, J.A. (2019). Calidad del agua potable: un caso de estudio hacia el desarrollo humano sostenible, municipio de María La Baja, Colombia. *Revista Sextante*, 21, pp. 51 - 61, 2019.

Resumen

Este estudio tuvo por objetivo evaluar la calidad del agua en el municipio de María La Baja, Colombia. Se consideraron parámetros físico – químicos y microbiológicos, tales como potencial de hidrógeno (pH), temperatura, color, turbiedad, oxígeno disuelto (OD), sólidos disueltos totales (SDT), conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5), dureza y presencia de E. Coli. La toma de datos se realizó en seis puntos de la localidad estudiada y se hizo acorde a lo planteado por la Standard Methods. Se pudo concluir que el agua provista a la comunidad por el sistema de acueducto de María La Baja no posee tratamiento y tiene presencia de coliformes fecales (E. coli), así como valores de turbiedad, color aparente y DBO5 por fuera de lo estipulado por la normativa colombiana, representando un riesgo para la salud de las personas. Se sugiere la pronta puesta en marcha de la planta de tratamiento del sistema de acueducto, procesos de seguimiento de la calidad del agua mejor estructurados y el replanteamiento de la estructura tarifaria y la administración de los cobros, de forma que se pueda ofrecer un servicio de calidad a la comunidad.

Palabras claves: Agua potable; Calidad del agua; Coliformes; Normatividad; Salud.

Drinking water quality: a case of study towards sustainable human development, municipality of Maria La Baja, Colombia

Abstract

The objective of this study was to evaluate the water quality in the municipality of María La Baja, Colombia. Physicochemical and microbiological parameters such as hydrogen potential (pH), temperature, color, turbidity, dissolved oxygen (DO), total dissolved solids (TDS), conductivity, chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD5), hardness and presence of E. Coli were considered. The data collection was carried out in six points of the studied locality and was made according to what Standard Methods. It was concluded that the water provided to the community by the María La Baja aqueduct system is untreated and has the presence of fecal coliforms (E. coli), as well as BOD5 values outside of that stipulated by the Colombian regulations, representing a risk to the health of people. It is suggested the prompt start-up of the water system treatment plant, better structured water quality monitoring processes and the rethinking of the tariff structure and the administration of the charges, so that an improved quality service could be offered to community.

Keywords: E. coli; Drinking water; Health; Normativity; Water quality.



1. Introducción

El agua es un constituyente importante de todos los organismos vivos y altamente importante para la vida humana, al ser requerida en la mayoría de las actividades cotidianas (Rahman et al. 2011). A pesar de que por su trascendencia se convierte en un recurso básico para la vida, aún existe acceso limitado al agua, especialmente en países en vía de desarrollo (Ongley, E.D. 1998) y se estipula que para el año 2025, aproximadamente el 60% de la población mundial sufrirá de escasez de agua (Rijsberman 2006). Tal situación ha suscitado el interés mancomunado de organizaciones internacionales como la ONU, para acortar la brecha de desigualdad y poder proveer agua potable segura a la población (Bain et al. 2012). Lo anterior va de la mano con que un gran número de enfermedades en el mundo se deben a la falta de acceso adecuado a fuentes de agua y condiciones de saneamiento, por ende, aproximadamente 2.9 millones de personas fallecen anualmente (Prüss-Üstün, A; et al. 2008).

Especial énfasis se ha hecho sobre el estudio y control de la calidad del agua, ya que son diferentes los fenómenos que pueden afectar las condiciones de saneamiento con las que el recurso llega a la población, deteriorando su calidad. El exceso en el uso de fertilizantes en tierras de cultivo (Riseng, C.M. et al. 2011), un desarrollo urbano inapropiado (Lee et al. 2017), las grandes cantidades de sedimento presentes en estructuras de almacenamiento de agua (como presas) (Newcombe y Macdonald 1991; Espa et al. 2013) y la acumulación de partículas (Vreeburg y Boxall 2007) y crecimiento microbiano (Van Der Kooij, D. 2000) en los sistemas de abastecimiento del líquido, entre otros, pueden afectar la calidad del recurso.

Dada la variedad de los fenómenos que pueden afectar la calidad del agua y sus efectos sobre la salud de las personas, se han planteado diferentes metodologías para su estudio. Una de las más aceptadas y aplicadas mundialmente es el uso de índices, los cuales han sido adoptados para llevar a cabo evaluaciones eficientes de la calidad del agua, basados en una serie de parámetros que han sido ampliamente aceptados como referencias de la calidad del líquido (Misaghi et al. 2017). Entre otros, se encuentran los “índices de calidad”, donde un índice elevado representa un bajo nivel de

polución, tales como los índices NSFQI y OWQI (Misaghi et al. 2017).

Existen metodologías más complejas para la evaluación de la calidad del agua, tales como: la aplicación de modelos numéricos (Gietl y Klemm 2009, 7; Shi, Li, y Wang 2011), análisis estadístico multivariado (Shrestha et al. 2017; Huang et al. 2010), redes neuronales (Ip et al. 2009) y el método de evaluación gris (Shin, J.P., Wang, W., y Li, X. 2012). Acorde a Misaghi et al. (2017), una evaluación comprensiva completa de la calidad del agua para consumo humano requiere de la inclusión de parámetros físicos, químicos y biológicos. No obstante, la inclusión de los diferentes parámetros correspondientes a cada grupo en un mismo estudio en muchos casos es inviable por motivos de tiempo, económicos o de accesibilidad a la información o equipos requeridos.

La Standard Methods provee una metodología de evaluación de la calidad del agua que considera algunos de estos parámetros, proporcionando una perspectiva de las condiciones del preciado líquido sin requerir de costos muy elevados, equipos exclusivos o procedimientos extremadamente complejos, y ha sido utilizada previamente en investigaciones alrededor del mundo en la temática (Ismail y Ramadan 1995; Baig et al. 2011; Alvarez-Mieles et al. 2013; Effendi 2016; Kulinkina et al. 2017).

El servicio de agua potable para las comunidades de América Latina ha venido siendo del interés general con el fin de mejorar su calidad y que sea sostenible en su frecuencia. Este interés se ha venido intensificando en la región desde el año 1961, los gobiernos de los países de América Latina y el Caribe han hecho grandes esfuerzos por ampliar y mejorar la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento.

Algunos de los aspectos a destacar se encuentran entre otros avances:

El aumento importante del número de personas que tienen acceso a los servicios de agua potable, aspecto que se vio aumentado durante las décadas del sesenta y setenta.

En los años ochenta y noventa se reportó en forma importante y notable el aumento en el número de personas conectadas a sistemas de alcantarillado.

En la década de los noventa se incrementó fuertemente el número de personas atendidas por sistemas de saneamiento “in situ”, tales como letrinas y fosas sépticas. Jouravlev, A. (2004).

En ese orden de ideas puede decirse que los procesos de los marcos regulatorios conducentes a modificación normativa, construcción de una estructura institucional más o menos organizada, que han incluido el fortalecimiento de las instituciones de tipo público en la prestación del servicio y la transferencia de los servicios al sector privado, se han realizado con relativa rapidez, mientras que las reformas asociadas a los reajustes tarifarios hacia los niveles que garanticen el autofinanciamiento de los servicios, a la creación de los efectivos sistemas de subsidios, a la operativización de los marcos regulatorios y a la modificación de las conductas de los prestadores públicos, todavía presentan importantes rezagos.

Como resultado de estos desfases, sumados a la inestabilidad macroeconómica y un déficit estructural de las finanzas públicas, las reformas no han tenido el éxito esperado: “A pesar del esfuerzo realizado la región continúa presentando un alto grado de exclusión de los servicios. Lo que es más preocupante aún, es que la velocidad de superación de los problemas de cobertura ha sido inferior y se

ha ido consolidando una situación de exclusión social en muchos países”. (Corrales, 2003).

Otro problema para destacar es la calidad del servicio que se está prestando, porque se está poniendo en riesgo la salud de las personas, teniendo en cuenta que se pueden favorecer tanto la prevención como la transmisión de agentes que causan enfermedades, tales como: eda, hepatitis A, polio y parasitosis por protozoarios y helmintos; entre estas, amebiasis, giardiasis, cryptosporidiasis y helmintiasis. La diferencia entre prevenir o transmitir este tipo de enfermedades de origen hídrico depende de varios factores, los principales son: la calidad y la continuidad del servicio de suministro de agua.

En esta investigación se presentan los resultados de la evaluación de la calidad del agua del acueducto del municipio de María La Baja, ubicado en Bolívar, Colombia, en el marco de una participación pericial de una acción popular interpuesta por una ONG, contra la República de Colombia y el departamento de Bolívar.

2. Contexto de estudio

En las secciones subsecuentes se presentará, en primera instancia, una contextualización de la medición de la calidad del agua en Colombia y posteriormente una caracterización de las condiciones del sistema de abastecimiento de la zona de estudio y las problemáticas asociadas a él.

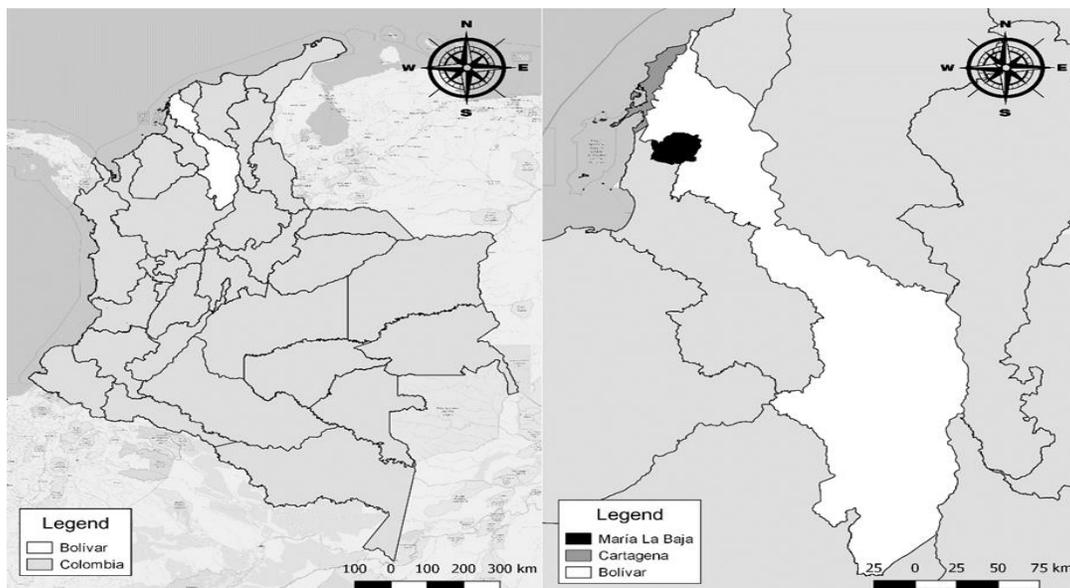


Figura 1. Ubicación geográfica de María La Baja respecto al departamento (Bolívar) y el país (Colombia).

Fuente: Los autores.

Medición de la calidad del agua en Colombia

La Resolución 2115 de 2007 establece las indicaciones para tamaño muestral y periodicidad de análisis de datos en el sistema de vigilancia colombiano de calidad del agua. Esta resolución también incluye el índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA), el cual es una herramienta de evaluación del nivel de riesgo debido al incumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas de potabilidad, conocidas por su relación con determinadas enfermedades (Ministerio de Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2007).

El IRCA considera características como el pH, la turbidez, los coliformes totales y E. Coli como indicadores de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua (Peláez et al. 2016), cuyos límites son de imperativo cumplimiento en todos los sistemas de abastecimiento de agua a nivel nacional.

Zona de estudio

El municipio de María La Baja está ubicado en el departamento de Bolívar, en la Región Caribe colombiana. Se encuentra a 14 metros sobre el nivel del mar, tiene una extensión total de 547 Km², de los cuales 150 Km² corresponden al área urbana y 397 Km² al área rural, su temperatura media es de 28°C y su población de 57.820 habitantes. Se encuentra en las faldas de los montes de María, con un suelo apto para la agricultura y recursos hídricos provenientes de la Ciénaga de María La Baja, una de las más grandes de Colombia, que se encuentra al norte de la cabecera municipal y es rica en recursos piscícolas.

La fuente de agua de abastecimiento de la cabecera proviene, principalmente, del acueducto municipal, que capta las aguas del pondaje regulador del distrito de riego, que recibe las aguas del arroyo El Viento. La red del sistema tiene una longitud aproximada de 48.550m y está compuesta de tuberías de PVC y asbesto cemento (AC) con diámetros de 4, 6 y 8 pulgadas.

La cobertura de servicio es de un 58% con 1.602 suscriptores. El acueducto opera durante 12 horas al día y, dado que el servicio es intermitente, en los

períodos de baja presión las redes permiten la entrada del agua freática contaminada.

El agua que se utiliza en el municipio para el consumo diario no está tratada, principalmente la que viene de los embalses de Matuya, por lo tanto, el 2% de la población de la cabecera municipal la hierve; en los corregimientos toman el agua sin hervir, también de bombas subterráneas y aguas de escorrentías, pozos, bombas impelentes, candelas, arroyos, estanques y embalses pequeños.

El diagnóstico institucional y comercial indica que las tarifas no obedecen a la realización de un estudio tarifario pertinente para su estipulación, en el que se tenga una estructura tarifaria de acuerdo con los volúmenes de agua consumida. Un servicio discontinuo y de baja calidad por las fallas en el sistema de tratamiento, así como una administración de cobros deficiente (a septiembre del año 2.000 presentaba una cartera morosa de \$200.000.000), son factores que han intervenido en el desarrollo de la problemática actual, que involucra aspectos sanitarios y económicos.

Cabe destacar que, durante el desarrollo de la presente investigación, en la interacción con la población afectada, se tuvo conocimiento que muchos grupos y comunidades no tienen la costumbre de hervir el agua o utilizar algún producto o procedimiento que les permita mejorar la calidad de esta.

3. Metodología

La metodología aplicada para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en este trabajo de investigación se encuentra referida en el Standard Methods (Clesceri, Greenberg, y Eaton 1999), la cual ha sido aplicada previamente a diferentes estudios de calidad del agua, y consiste en la toma de muestras en el campo, las cuales fueron realizadas utilizando frascos de vidrio sometidos previamente a la autoclave para su esterilización.

Las muestras para los análisis fisicoquímicos fueron envasadas en botellas de plástico, las cuales fueron lavadas previamente con jabón y agua destilada, y fueron fijadas con H₂SO₄ concentrado.

Las muestras microbiológicas fueron envasadas en frascos de vidrio esterilizados con autoclave sellada y marcada para su estudio en el laboratorio. Las variables determinadas In Situ fueron: pH, temperatura, conductividad, SDT y OD. En el laboratorio se determinaron: color (Acuitester), turbiedad, alcalinidad, dureza, DBO, DQO, coliformes (unidades formadoras de Coliformes sobre 100MI).

Se tomaron muestras en seis puntos:

Estación 1: Acueducto (zona de captación) es el área donde el acueducto, en la zona de La Suprema, captar el agua para el envío a María La Baja.

Estación 2: Jaula cultivo (tilapia roja) zona donde miembros de la comunidad están realizando cultivos de tilapia roja. Ellos reportan muertes masivas de peces por épocas.

Estación 3: Zona del puente (lavadero) zona donde la comunidad lava la ropa y los implementos de cocina.

Estación 4: Zona del puente (compuerta) donde se hace el control de la salida y entrada de agua hacia el distrito de riego.

Estación 5: Acueducto (tanque de aguas claras) donde se ha desinfectado el agua y de allí parte hacia las redes de distribución.

Estación 6: Zona El pozo, lugar donde la comunidad de La Suprema toma agua para el consumo.



Figura 2. Estación 3, zona del puente (lavadero de la comunidad).

Fuente: Oyaga, Padilla y Duarte (2011)

4. Metodología

A continuación, en la [Tabla 1](#) se presentan los resultados obtenidos en la medición de cada uno de los parámetros, así como una interpretación de los valores obtenidos enmarcados dentro de lo señalado por la normativa colombiana.

PH

El pH para las zonas de muestreo se reporta como básico, probablemente por las características del suelo donde se ubica.

Es preciso mencionar que la zona de captación de agua del sistema de acueducto pertenecía a potreros que fueron inundados para ampliar la zona de riego. Se destaca que para la zona del Pozo (Estación 6), el pH reportado es ligeramente ácido. Una potencial fuente de acidificación se presenta en aguas debido a la formación de “ácidos húmicos” formados a partir de la descomposición de la materia vegetal en la cual ciertos procesos de síntesis y polimeración producen en último término fenoles, quinonas y compuestos aminados. Para la determinación precisa de los factores que afectan el pH se deben ampliar los criterios de investigación para determinar sus causas por medio de estudios limnológicos.

En la resolución 2115, artículo 4°. Potencial de hidrógeno. el valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0, por lo cual la zona donde extraen el agua para consumo en la comunidad de La Suprema no está en este parámetro de pH, se encuentra por debajo de lo que exige la norma.



Figura 3. Estación 6, zona El Pozo.

Fuente: Oyaga, Padilla y Duarte (2011)

Temperatura

La temperatura reportada es congruente con un cuerpo de agua con características del neotrópico, donde bajo las condiciones de la temperatura registrada se presenta adecuada oxigenación del agua.

Color y turbiedad

La resolución 2115 en su artículo 2 establece que “Características físicas. El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación” (ver [Tabla 2](#)).

El agua que toma la comunidad para consumo humano en el sector de El Pozo tiene un color aparente de cinco, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma. Los valores de turbiedad que se describen en la [Tabla 1](#) se encuentran muy por debajo del valor de referencia (2 unidades nefelométricas de turbiedad – UNT) si los comparamos con lo establecido por la resolución 2115 para el agua destinada al consumo humano.

El color y la turbiedad son características relacionadas con la carga de materia orgánica del agua, factor que influye notablemente en la eficiencia del tratamiento de esta, principalmente en la cloración (Guzmán, Nava, y Díaz 2015). De lo anterior se deduce que entre mayores sean los valores de estos parámetros, hay una mayor tendencia a la presencia de materia orgánica en el líquido.

Oxígeno disuelto (OD)

El valor en la medición del OD (oxígeno disuelto) está en relación con parámetros como la temperatura del cuerpo de agua, a mayor temperatura menor disolución de gases, en especial el oxígeno.

Otro factor que puede incidir en los resultados es la salinidad, entre mayor sea, menor capacidad tiene el agua de disolver el Oxígeno, por tanto, el agua de El Pozo presenta el menor nivel de oxígeno, probablemente por factores asociados con el suelo del terreno y porque es agua producto de acuífero, el cual puede tener menos concentración de oxígeno que el agua superficial.

Tabla 1. Resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Parámetros	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6
Hora de muestreo	9:15	9:45	10:05	11:35	12:10	12:22
pH	8.28	8	8.42	8.7	7.7	6.18
TEMP (°C)	30.3	31.2	31.3	31	31	29.4
OD (mg/L)	7.73	8	6.5	6.86	2.86	4.9
SDT (mg/L)	147	99	99	102	102	20
DQO (mg/L)	40	4	4	5	5	3
DBO (mg/L)	6	4	4	5	5	3
Conductividad (µS/cm)	319	242	248	248	247	38
Coliformes fecales (UFC /100mL)	206	54	46	76	10	6

Fuente: Oyaga, Padilla y Duarte (2011).

Tabla 2. Valor máximo admisible de color aparente.

Características físicas	Expresadas como	Valor aceptable	Máximo
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15	

Fuente: Los autores.

SDT

Los SDT pueden generar problemas de olor, sabor e incluso problemas de salud, dada su composición por partículas de materia orgánica e inorgánica. En el caso de estudio los valores de SDT están relacionados con lo establecido por la literatura y no suponen problemas al respecto.

Conductividad

Los valores de conductividad están muy por debajo de lo que establece la resolución 2115 en todas las estaciones de muestreo, lo que indica una baja presencia de iones. Es una condición aceptable para aguas dispuestas para el consumo humano. La norma recomienda su seguimiento si se presenta un incremento superior al 50% en la conductividad eléctrica del punto fuente.

DQO

La demanda química de oxígeno (DQO) es, junto con el DBO5, uno de los parámetros más utilizados para evaluar la calidad del agua, y da un indicio de la presencia de materia orgánica en el cuerpo de agua. En el presente caso, los valores se encuentran muy por debajo de lo establecido por la norma.

DBO5

Las aguas analizadas muestran condiciones de DBO5 entre aceptable a dudosa. La DBO es la demanda biológica de oxígeno, que implica la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica presente en un cuerpo de agua. En la zona de estudio la carga orgánica parece estar presente en alto nivel y puede ser una causa de los valores de DBO reportados.

Dureza

La dureza expresa la presencia de iones, principalmente de calcio o de magnesio. Si se encuentran en elevadas concentraciones pueden generar problemas gastrointestinales. Los valores de dureza están por debajo del límite máximo permitido, lo que muestra que tienen condiciones aceptables.



Figura 4. Muestra de control (izquierda) y presencia de E. Coli (derecha) en el agua utilizada para el consumo por la comunidad.

Fuente: Oyaga, Padilla y Duarte (2011).

Coliformes fecales (*E. Coli*)

Se define como coliformes fecales aquellos que fermentan la lactosa a 44,5 – 45,5 °C. Aplicando este criterio crecerán en el medio de cultivo principalmente *Escherichia coli* (90%) y algunas bacterias de los géneros *Klebsiella* y *Citrobacter*. La prueba de coliformes fecales positiva indica un 90% de probabilidad de que el coliforme aislado sea *E. coli*.

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente las bacterias coliformes se encuentran en abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. La norma 2115 de agua potable de (2007) establece en el parágrafo 2 que el agua para consumo humano (potabilizada) debe contener cero coliformes fecales.

En todos los análisis que se reportan se muestra presencia de *E. Coli* en diferentes grados, tal como se evidencia en la [Figura 4](#).

5. Discusión

Los resultados obtenidos permiten vislumbrar las condiciones del servicio de agua potable prestado a los habitantes de María La Baja. En términos de temperatura, pH, conductividad y dureza, el agua analizada cumple con los requisitos establecidos

para el consumo humano. No obstante, los valores referentes a los parámetros de oxígeno disuelto, DBO5 y coliformes fecales evidencian las falencias en el proceso de tratamiento y potabilización del agua.

Los resultados obtenidos son concordantes con los obtenidos por Guzmán et al. (2015) quienes desarrollaron una investigación sobre la asociación entre la calidad del agua y la morbimortalidad en Colombia. En su estudio encontraron problemáticas a nivel nacional relacionadas a la presencia de *E. Coli* y coliformes totales en el agua para el consumo humano, situación acentuada en las zonas rurales. Además, Guzmán et al. (2015) concluyeron que existe una correlación entre la calidad del agua y la mortalidad infantil en el país, situación alarmante al considerar lo encontrado por Peláez et al. (2016) en su investigación, indicando que en Colombia existen poblaciones que consumen agua sin ningún tipo de tratamiento.

Los hallazgos de este estudio resaltan la gravedad de la situación, teniendo en cuenta que las infecciones por *E. Coli* pueden desencadenar patologías como diarrea y vómitos (Ardley y Wright 2009), insuficiencia renal (Humphrey, O'Brien, y Madsen 2007; Scallan et al. 2015), alteraciones neurológicas (Chu et al. 2014), síndrome hemolítico urémico (Tapper et al. 1995), septicemia (Dan et al. 2015) y meningitis (Gaschignard et al. 2012). Aunque el agua analizada cumplió con varios de los parámetros estudiados, aquellos que no cumplieron con lo establecido por la Resolución 2115 son especialmente alarmantes, ya que están relacionados con la presencia de materia fecal en el agua, así como con la presencia de *E. Coli*, bacteria relacionada con diferentes enfermedades que encuentran como población más vulnerable a los infantes.

Los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico permiten constatar las problemáticas en el acceso a agua potable en Colombia e igualmente las dificultades para el seguimiento del funcionamiento de los sistemas de tratamiento y distribución del líquido. Guzmán, Nava y Díaz (2015, 117) resaltan que “es preciso implementar políticas que permitan fortalecer los sistemas de suministro de líquido y de vigilancia en términos de salud ambiental”, mientras que Peláez et al. (2016) hacen énfasis en el robustecimiento de

la infraestructura requerida para una adecuada valoración epidemiológica de las condiciones del agua potable, capacitación del personal encargado, destinación de recursos económicos necesarios y colaboración de sectores externos para abordar la evaluación de la calidad del agua.

Cabe anotar que cuando se desarrolló la presente investigación, se informó al grupo investigador que el acueducto no estaba funcionando, pero que cuando lo hacía, enviaba el agua sin tratamiento a los usuarios. Lo anterior sugiere acciones de carácter imperativo para mejorar la calidad del agua provista a los habitantes de María La Baja, que, en condiciones actuales, es altamente riesgosa para el consumo humano.

6. Conclusiones y Recomendaciones

El agua de la zona de estudio muestra condiciones normales para los parámetros de calidad de agua natural: conductividad, pH, OD, SDT, temperatura, DQO, turbiedad, alcalinidad, dureza. Sin embargo, la alta presencia de *E. Coli* (*Escherichia Coli*) en número calificada por el examen de incontables deteriora severamente la calidad del agua y pone en riesgo la salud de las personas. Se debe evitar el consumo del agua de esta zona sino ha sido previamente tratada.

Es necesario poner en funcionamiento la planta de tratamiento que suministra agua a la población de toda la región que abarca María La Baja, con el fin de evitar que ésta, con los niveles de contaminación por *E. Coli* registrados, llegue a ser consumida. Además, se sugiere un proceso de auditoría que permita revisar y reformar la estructura tarifaria y los procesos de cobro del servicio, de manera que se pueda tener un recaudo oportuno y acorde a las condiciones del servicio prestado. Por último, se recomienda realizar controles periódicos para evaluar la calidad de agua que se le suministra a los habitantes del sector, replicando la metodología aplicada en esta investigación o utilizando técnicas más avanzadas si se cuenta con los recursos para ello.

Referencias

Alvarez-Mieles, G., K. Irvine, A.V. Griensven, M. Arias-Hidalgo, A. Torres, y A.E. Mynett. 2013. «Relationships between Aquatic Biotic Communities and Water Quality in a Tropical

- River-wetland System (Ecuador)». *Environmental Science & Policy* 34 (diciembre): 115-27.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.01.011>.
- Ardley, Christian, y Stephen Wright. 2009. «Travellers' diarrhoea».
- Baig, Shams Ali, Qaisar Mahmood, Bahadar Nawab, Mustafa Nawaz Shafqat, y Arshid Pervez. 2011. «Improvement of Drinking Water Quality by Using Plant Biomass through Household Biosand Filter – A Decentralized Approach». *Ecological Engineering* 37 (11): 1842-48.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.011>.
- Bain, Rob, Stephen Gundry, Jim Wright, Hong Yang, Steve Pedley, y Jamie Bartram. 2012. «Accounting for water quality in monitoring access to safe drinking-water as part of the Millennium Development Goals: lessons from five countries». *Bulletin of the World Health Organization* 90 (3): 228-35.
<https://doi.org/10.2471/BLT.11.094284>.
- Chu, Shih-Ming, Jen-Fu Hsu, Chiang-Wen Lee, Reyin Lien, Hsuan-Rong Huang, Ming-Chou Chiang, Ren-Huei Fu, y Ming-Horng Tsai. 2014. «Neurological Complications after Neonatal Bacteremia: The Clinical Characteristics, Risk Factors, and Outcomes». Editado por Patrick M. Schlievert. *PLoS ONE* 9 (11): e105294.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105294>.
- Clesceri, Lenore, Arnold Greenberg, y Andrew Eaton. 1999. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20.a ed. <https://www.standardmethods.org/AboutSM/>.
- Corrales, María Elena (2004), *Desafíos de la regulación de los servicios de agua y saneamiento en América Latina*, Comité Asesor Técnico de América del Sur (SAMTAC), Asociación Mundial del Agua (GWP). (2003), *Gobernabilidad de los servicios de agua potable y saneamiento en América Latina*, Comité Asesor Técnico de América del Sur (SAMTAC), Asociación Mundial del Agua (GWP).
- Dan, Michael, Yael Yair, Alex Samosav, Tamar Gottesman, Orit Yossepowitch, Orna Harari-Schwartz, Alexander Tsivian, Rachel Schreiber, y Uri Gophna. 2015. «*Escherichia Coli* Isolates from Patients with Bacteremic Urinary Tract Infection Are Genetically Distinct from Those Derived from Sepsis Following Prostate Transrectal Biopsy». *International Journal of Medical Microbiology* 305 (4-5): 464-68.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2015.04.003>.
- Effendi, Hefni. 2016. «River Water Quality Preliminary Rapid Assessment Using Pollution Index». *Procedia Environmental Sciences* 33: 562-67.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.108>.
- Espa, Paolo, Elena Castelli, Giuseppe Crosa, y Gaetano Gentili. 2013. «Environmental Effects of Storage Preservation Practices: Controlled Flushing of Fine Sediment from a Small Hydropower Reservoir». *Environmental Management* 52 (1): 261-76.
<https://doi.org/10.1007/s00267-013-0090-0>.
- Gaschignard, J., C. Levy, E. Bingen, y R. Cohen. 2012. «Épidémiologie des méningites néonatales à *Escherichia coli*». *Archives de Pédiatrie* 19 (noviembre): S129-34.
[https://doi.org/10.1016/S0929-693X\(12\)71286-1](https://doi.org/10.1016/S0929-693X(12)71286-1).
- Gietl, Johanna K., y Otto Klemm. 2009. «Analysis of traffic and meteorology on airborne particulate matter in Münster, Northwest Germany». *Journal of the Air and Waste Management Association* 59 (7): 809–818.
<https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.7.809>.
- Guzmán, Blanca Lisseth, Gerardo Nava, y Paula Díaz. 2015. «Calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012». *Biomédica* 35 (0).
<https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2511>.
- Huang, Fang, Xiaoquan Wang, Liping Lou, Zhiqing Zhou, y Jiaping Wu. 2010. «Spatial Variation and Source Apportionment of Water Pollution in Qiantang River (China) Using Statistical Techniques». *Water Research* 44 (5): 1562-72.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.11.003>.
- Humphrey, Tom, Sarah O'Brien, y Mogens Madsen. 2007. «*Campylobacters* as Zoonotic Pathogens:

- A Food Production Perspective». International Journal of Food Microbiology 117 (3): 237-57. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.01.006>.*
- Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. CEPAL.
- Ip, W.C., B.Q. Hu, H. Wong, y J. Xia. 2009. «Applications of Grey Relational Method to River Environment Quality Evaluation in China». *Journal of Hydrology* 379 (3-4): 284-90. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.10.013>.
- Ismail, S. S., y A. Ramadan. 1995. «Characterisation of Nile and drinking water quality by chemical and cluster analysis». *Science of the Total Environment* 173-174 (C): 69-81. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04764-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04764-6).
- Kulinkina, Alexandra V., Jeanine D. Plummer, Kenneth K.H. Chui, Karen C. Kosinski, Theodora Adomako-Adjei, Andrey I. Egorov, y Elena N. Naumova. 2017. «Physicochemical Parameters Affecting the Perception of Borehole Water Quality in Ghana». *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 220 (6): 990-97. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.05.008>.
- Lee, Ingyu, Hyundong Hwang, Jungwoo Lee, Nayoung Yu, Jinhuck Yun, y Hyunook Kim. 2017. «Modeling Approach to Evaluation of Environmental Impacts on River Water Quality: A Case Study with Galing River, Kuantan, Pahang, Malaysia». *Ecological Modelling* 353 (junio): 167-73. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.01.021>.
- Ministerio de Protección Social, y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2007. Resolución 2115. <http://www.ins.gov.co/sivicap/Normatividad/Resoluci%C3%B3n%202115%20de%202007.pdf>.
- Misaghi, Farhad, Fatemeh Delgosha, Mostafa Razzaghmanesh, y Baden Myers. 2017. «Introducing a Water Quality Index for Assessing Water for Irrigation Purposes: A Case Study of the Ghezal Ozan River». *Science of The Total Environment* 589 (julio): 107-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.226>.
- Newcombe, C. P., y D. D. Macdonald. 1991. «Effects of Suspended Sediments on Aquatic Ecosystems». *North American Journal of Fisheries Management* 11 (1): 72-82. [https://doi.org/10.1577/15488675\(1991\)011<072:EOSSOA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/15488675(1991)011<072:EOSSOA>2.3.CO;2).
- Ongley, E.D. 1998. «Modernisation of water quality programmes in developing countries: Issues of relevancy and cost efficiency». *Water Quality International*, septiembre, 37-42.
- Peláez, Dioselina, Blanca Lisseth Guzmán, Johanna Rodríguez, Felipe Acero, y Gerardo Nava. 2016. «Presencia de virus entéricos en muestras de agua para el consumo humano en Colombia: desafíos de los sistemas de abastecimiento». *Biomédica* 36 (abril): 169. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v36i0.2987>.
- Prüss-Üstün, A., Bos, R, Gore, F, y Bartram, J. 2008. «Safer water, better health: Costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health». Geneva: World Health Organization. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43840/1/9789241596435_eng.pdf.
- Rahman, Ismail Md Mofizur, M. Monirul Islam, M. Mosharraf Hossain, M. Shahadat Hossain, Zinnat A. Begum, Didarul A. Chowdhury, Milan K. Chakraborty, M. Azizur Rahman, M. Nazimuddin, y Hiroshi Hasegawa. 2011. «Stagnant Surface Water Bodies (SSWBs) as an Alternative Water Resource for the Chittagong Metropolitan Area of Bangladesh: Physicochemical Characterization in Terms of Water Quality Indices». *Environmental Monitoring and Assessment* 173 (1-4): 669-84. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1414-7>.
- Rijsberman, Frank R. 2006. «Water Scarcity: Fact or Fiction?» *Agricultural Water Management* 80 (1-3): 5-22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>.
- Riseng, C.M., Wiley, M. J., Black, R. W., y Munn, M. D. 2011. «Impacts of agricultural land use on

biological integrity: a causal analysis». *Ecological Applications* 21 (8): 3128-46.

Scallan, E., R. M. Hoekstra, B. E. Mahon, T. F. Jones, y P. M. Griffin. 2015. «An Assessment of the Human Health Impact of Seven Leading Foodborne Pathogens in the United States Using Disability Adjusted Life Years». *Epidemiology & Infection* 143 (13):2795-2804. <https://doi.org/10.1017/S0950268814003185>.

Shi, Jinghao, Guangxue Li, y Ping Wang. 2011. «Anthropogenic Influences on the Tidal Prism and Water Exchanges in Jiaozhou Bay, Qingdao, China». *Journal of Coastal Research*, enero, 57-72. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-09-00011.1>.

Shin, J.P., Wang, W., y Li, X. 2012. «Study on space-time variety of water environment quality based on gray relational model-- 《Guangdong Agricultural Sciences》 2012年04期». *Guangdong Agricultural Sciences*. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-GDNY201204044.htm.

Shrestha, Sagar, John Farrelly, Michael Eggleton, y Yushun Chen. 2017. «Effects of Conservation Wetlands on Stream Habitat, Water Quality and Fish Communities in Agricultural Watersheds of the Lower Mississippi River Basin». *Ecological Engineering* 107 (octubre): 99-109. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.054>.

Tapper, David, Phillip Tarr, Ellis Avner, John Brandt, y John Waldhausen. 1995. «Lessons learned in the management of hemolytic uremic syndrome in children». *25th Annual Meeting of the American Pediatric Surgical Association*, 158-63.

Van Der Kooij, D. 2000. «Biological Stability: A Multidimensional Quality Aspect of Treated Water». *En Environmental Challenges*, 25-34. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4369-1_3.

Vreeburg, Ir J.H.G., y Dr. J.B. Boxall. 2007. «Discolouration in Potable Water Distribution Systems: A Review». *Water Research* 41 (3): 519-29. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.09.028>.