

Efecto del fenómeno El Niño 2015-2016 en la calidad del agua del río Magdalena, municipio de Purificación -Tolima¹

Óscar Efrén Ospina Zúñiga², Andru Johann Ochoa Olaya³, María Yolanda Vélez Ramírez⁴

Resumen

Introducción. El fenómeno El Niño ocasiona cambios en la calidad de agua de fuentes hídricas superficiales por aumento de temperatura y disminución del caudal. **Objetivo.** Analizar el efecto del fenómeno El Niño ocurrido entre el segundo semestre del 2015 y el primer trimestre de 2016 en la calidad del agua del río Magdalena, municipio de Purificación (Tolima), a partir de la caracterización de su turbiedad, color aparente, pH, temperatura, dureza total, fosfatos, nitratos, nitritos, cloruros, hierro y micro-organismos mesófilos, para determinar su comportamiento antes y durante este evento natural caracterizado por producir pérdida de pluviosidad y la consecuente reducción del caudal del río, considerado el de mayor impacto desde que se llevan registros. **Materiales y métodos.** Se tomaron muestras de agua cruda durante el año 2015 y el primer trimestre de 2016 en el sitio de captación del acueducto urbano del municipio de Purificación-Tolima. **Resultados.** Comparativamente durante los meses de ocurrencia del fenómeno El Niño con relación al primer semestre de 2015, disminuyó la turbiedad y aumentó la concentración de los demás indicadores, especialmente fosfatos, nitritos y hierro, que por tratarse de sustancias disueltas pueden superar el proceso de tratamiento convencional y estar presentes en el agua para consumo en concentraciones superiores a las establecidas por la normativa vigente, así como

los micro-organismos mesófilos. **Conclusión.** Durante la ocurrencia del fenómeno El Niño, el río Magdalena presentó cambios en su calidad del agua, con incremento en algunos contaminantes que pueden superar el tratamiento e implicar riesgo a la salud humana.

Palabras clave. calidad, agua, fenómeno El Niño, río Magdalena.

Effect of El Niño Phenomenon 2015-2016 on the water quality of the Magdalena River, municipality of Purificación -Tolima

Abstract

Introduction. El Niño phenomenon causes changes in the water quality of surface water sources due to temperature increase and flow reduction. **Objective.** To analyze the effect of el Niño phenomenon occurring between the second half of 2015 and the first quarter of 2016 on the water quality of the Magdalena River, municipality of Purificación (Tolima). The water analysis is based on the characterization of its turbidity, apparent color, pH, temperature, total hardness, phosphates, nitrates, nitrites, chlorides, iron and mesophilic microorganisms; to determine its behavior before and during said natural event characterized by loss of rainfall and its consequent reduction of river flow, considered the one with the greatest impact ever recorded. **Materials and**

- 1 Artículo original derivado del proyecto de investigación "Impacto del fenómeno de "el Niño" 2015-2016 en la calidad de agua del río Magdalena como fuente de abastecimiento del municipio de Purificación (Tolima, Colombia)" de la Universidad Piloto de Colombia. Proyecto realizado entre junio de 2015 y octubre de 2016.
- 2 Ingeniero Civil, Magíster Gestión Ambiental, docente investigador Universidad Piloto de Colombia. E-mail: oscar-ospina1@unipiloto.edu.co ORCID: 0000-0002-5699-1785
- 3 Ingeniero Civil, Universidad Piloto de Colombia, E-mail: andrew-girardot@hotmail.com ORCID: 0000-0002-7141-4070
- 4 Ingeniera Civil, Universidad Piloto de Colombia, E-mail: mariayo.1993@hotmail.com ORCID: 0000-0002-5346-288

Artículo recibido: 28/06/2017; Artículo aprobado: 27/11/2017

Autor para correspondencia Óscar Efrén Ospina Zúñiga, E-mail: oscar-ospina1@unipiloto.edu.co

methods. Raw water samples were taken during 2015 and the first quarter of 2016 at the site of the urban aqueduct of the municipality of Purificación - Tolima. **Results.** Comparatively, during the months of occurrence of El Niño phenomenon in relation to the first half of 2015, water turbidity decreased and the concentration of other indicators increased, especially phosphates, nitrites and iron, which, as dissolved substances, may pass the conventional treatment process and be present in drinking water in concentrations higher than those established by current regulations. An increase in mesophilic microorganisms was also evidenced. **Conclusion.** During the occurrence of el Niño phenomenon, the Magdalena river presented changes in its water quality with an increase in some contaminants that can pass the treatment process and imply risk to human health.

Keywords: Quality, water, El Niño phenomenon, Magdalena River

Efeito do fenômeno El Niño 2015-2016 na qualidade da água do rio Magdalena, municipio de Purificación –Tolima

Resumo

Introdução: O fenômeno El Niño ocasiona mudanças na qualidade da água de fontes hídricas superficiais pelo aumento de temperatura e diminuição do caudal. **Objetivo:** Analisar o efeito do fenômeno El Niño ocorrido entre o segundo

semestre de 2015 e o primeiro trimestre de 2016 na qualidade da água do rio Magdalena, município de Purificación (Tolima), a partir da caracterização da sua turvação, cor aparente, pH, temperatura, dureza total, fosfatos, nitratos, nitritos, cloretos, ferro e micro-organismos mesófilos, para determinar seu comportamento antes e durante este evento natural caracterizado por produzir perda de precipitação e a conseqüente redução do caudal do rio, considerado o de maior impacto desde que se tem registros. **Materiais e métodos:** Se tomaram amostras de água crua durante o ano de 2015 e o primeiro trimestre de 2016 no lugar de captação do aqueduto urbano do município de Purificación – Tolima. **Resultados:** Comparativamente durante os meses de ocorrência do fenômeno El Niño com relação ao primeiro semestre de 2015, diminuiu a turvação e aumentou a concentração dos demais indicadores, especialmente fosfatos, nitritos e ferro, que por tratar-se de substâncias dissolvidas, podem superar o processo de tratamento convencional e estar presentes na água para consumo em concentrações superiores às estabelecidas pela normativa vigente, assim como os micro-organismos mesófilos. **Conclusão:** Durante a ocorrência do fenômeno El Niño, o rio Magdalena apresentou mudanças na sua qualidade da água, com incremento em alguns contaminantes que podem superar o tratamento e implicar risco à saúde humana.

Palavras chave: qualidade, água, fenômeno El Niño, rio Magdalena.

Introducción

Existe consenso respecto a la amenaza que se cierne sobre la Tierra debido al cambio climático, cuyo impacto es diferencial dependiendo de la ubicación en el planeta, con efectos físicos y económicos (Ponce y Cantú, 2012). Según el Sistema de Información Ambiental de Colombia –SIAM–, el fenómeno El Niño y su fase opuesta La Niña causan la mayor variabilidad climática en la zona tropical del océano Pacífico, y corresponden a la aparición de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental. En época del fenómeno El Niño se presentan las condiciones más secas en gran porción del territorio y afectan el recurso hídrico (Bedoya, Contreras y Ruiz, 2010). La hidrología permite definir la dinámica de las escorrentías de cuencas

hídricas, según lo describen Bohn, Piccolo y Perillo (2011), refiriéndose a que las variaciones de precipitación pueden alterar el uso del suelo con incidencia en las actividades económicas, permitiendo prever la ocurrencia de inundaciones y sequías extremas. Los fenómenos de variabilidad climática, como El Niño, ejercen influencia en el clima y en la precipitación regional, como lo describen García, Piñeros, Bernal y Ardila (2012), quienes se refieren a que este fenómeno reduce el caudal en la cuenca del río Magdalena-Cauca en promedio del 26 %, y en el Sumapaz hasta un 40 %. A partir del fenómeno El Niño ocurrido en 1990-1991, fue relevante para el país conocer la dinámica climática que genera para planificar su mitigación (Pinilla y Pinzón, 2012), pues la variación de precipitación influye en la producción agrícola, como lo demuestra el estudio realizado por Peña, Ramírez, Valencia y

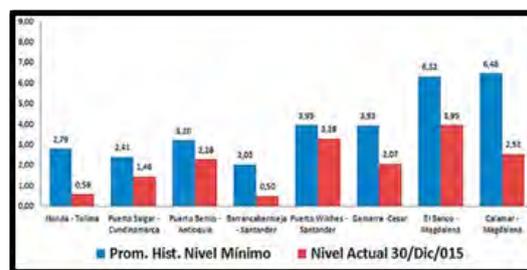
Jaramillo (2012) para el cultivo de café; de igual manera, la variabilidad climática afecta las fuentes hídricas (Valencia, Figueroa, Ruiz, Otero, Martínez, Ceballos, Joaquín y González, 2014); además, en varios países de América, como ocurre en México, la precipitación se ve afectada por este fenómeno, según el estudio realizado por Pereyra, Murrieta y Baizabal (2004), relacionado con sequías severas en verano en el norte del país, y lluvias intensas de invierno en el noroeste (Landa, Magaña y Neri, 2008); asimismo, la variabilidad climática estudiada en la isla de Coco en Costa Rica, por Quirós-Badilla y Alfaro (2009), en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Bohn, Piccolo y Perillo, 2011) y en los Andes ecuatorianos muestra gran dependencia entre la variabilidad climática y los caudales mínimos (Andrade y Ríos, 2014).

La investigación se desarrolló en el río Magdalena, considerado como la principal fuente hídrica del país al representar el bastión principal para la economía y el abastecimiento en diferentes usos, entre otros aspectos; como lo considera Bernal: “El río constituye el eje de desarrollo nacional más importante, desde el punto de vista geográfico-espacial, ambiental, cultural, social, económico, demográfico, urbano, histórico y, por supuesto, hidrográfico” (2013). Sin embargo, la población asentada en su cuenca, que desarrolla diferentes actividades productivas, ha causado deterioro ambiental en detrimento de la calidad del agua (Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, 2013), dado que no se dispone de planta de tratamiento del agua para consumo en varios municipios de su cuenca, ni de sistemas de tratamiento de agua residual. Por ser la principal arteria fluvial de Colombia (Restrepo, 2005), su uso para consumo humano y riego es frecuente en la región delimitada por los departamentos de Cundinamarca y Tolima. El río Recibe varios afluentes que aumentan su caudal, y con potencial modificación de sus condiciones de calidad de agua, como son los ríos Saldaña, Sumapaz, Coello y Bogotá. Está dividido geográficamente en tres grandes regiones: alto, medio y bajo Magdalena; el primero, definido “desde el nacimiento del río en la laguna de la Magdalena, ubicada en el páramo de las Papas en el Macizo Colombiano a 3685 msnm, hasta los rápidos de Honda, situados a 229 msnm” (Atlas cuenca del río Magdalena, 2012). El área de estudio está enmarcada en la región del alto Magdalena, tomando como eje central el municipio de Purificación, localizado al oriente del departamento del Tolima, cuyo abastecimiento para consumo humano se deriva de esta fuente hídrica.

La ocurrencia del fenómeno de “El Niño” trajo como consecuencia la disminución del caudal del río Magdalena, como lo evidenció el IDEAM en varias estaciones localizadas a lo largo de su cauce (El País, 2016), donde el nivel presentado a diciembre 30 de 2015 estuvo por debajo del promedio histórico de nivel mínimo, según se muestra en la figura 1; este fenómeno es considerado el más fuerte desde que se tienen registros, e influye en la variabilidad de concentración de algunos elementos y sustancias presentes en el agua, aumentando el nivel de riesgo de superar el tratamiento existente en plantas convencionales de potabilización, con potencial riesgo para la salud de la población.

Figura 1. Registro de caudal del río Magdalena el 30 de diciembre de 2015

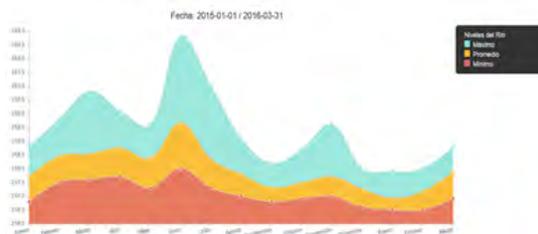
Fuente: El País (2016)



La empresa ACUAGYR E. S. P. registró los niveles del río Magdalena mensualmente durante el año 2015 y el primer trimestre de 2016, como se describe en la figura 2.

Figura 2. Niveles máximos y mínimos del río Magdalena en Girardot, durante el periodo enero de 2015 a marzo de 2016

Fuente: ACUAGYR (2017)



Uno de los pocos trabajos recientes que reportan la calidad del agua cruda del río Magdalena en el municipio de Purificación corresponde al realizado por Ortiz-Romero, Delgado-Tascón, Pardo-Rodríguez, Murillo-Perea y Guio (2015), en

el que se evaluó en temporada lluviosa (AA: aguas altas) y seca (AB: aguas bajas) la presencia de elementos mayores: sodio, potasio, calcio y magnesio; y metales pesados: cadmio, cromo, plomo y mercurio. Los resultados obtenidos se describen en las tablas 1 y 2, y muestran que en aguas bajas se incrementa la presencia de calcio y potasio, y en aguas altas aumenta la concentración de sodio.

Tabla 1. Concentraciones de elementos mayores en muestras de aguas del río Magdalena-Purificación

Fuente: Ortiz-Romero, Delgado-Tascón, Pardo-Rodríguez, Murillo- Perea y Guio Duque (2015).

Elementos	Purificación	
	AA	AB
Ca (mg/L)	<0,1	0,48±0,05
Mg (mg/L)	<0,1	<0,1
Na (mg/L)	1,24±0,05	<0,1
K (mg/L)	2,87±0,22	4,17±0,31

El plomo es el metal pesado que presentó una significativa concentración en el agua cruda para las dos temporadas, lo cual puede implicar riesgo para consumo humano de no realizarse el tratamiento adecuado para su remoción.

Tabla 2. Concentraciones de metales pesados (mg / Kg) en muestras de agua y sedimento del río Magdalena-Purificación

Fuente: Ortiz-Romero, Delgado-Tascón, Pardo-Rodríguez, Murillo- Perea y Guio Duque (2015).

Estación	Matriz	Temporada Aguas Altas				Temporada Aguas Bajas			
		Cd	Cr	Pb	Hg	Cd	Cr	Pb	Hg
Purificación	Agua	<0,01	<0,01	0,19±0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,13±0,05	<0,01
	Sedimento	0,05±0,05	0,04±0,05	36,0±0,05	0,016±0,005	0,11±0,05	<0,01	3,00±0,05	0,04±0,05

El comportamiento espacial y temporal mensual de la temperatura y la precipitación en Purificación se definen en la figura 3 (Fernández, 2013), donde se puede deducir que tiene un régimen bimodal de precipitación, y que los meses de abril, mayo, octubre y noviembre registran la mayor cantidad lluvia.

Figura 3. Distribución espacial y temporal de la precipitación en Purificación, Tolima
Fuente: Fernández (2013)



Materiales y métodos

La investigación es de tipo exploratorio - descriptivo referente a las características físico-químicas y microbiológicas del agua cruda presente en el río Magdalena durante el fenómeno de "El Niño" 2015-2016; se tomaron muestras de agua cruda en el laboratorio de control de calidad de la empresa PURIFICA E. S. P., durante el año 2015 y el primer trimestre de 2016, siguiendo las especificaciones establecidas en las normas técnicas Colombianas NTC ISO 5667 / 1, 5667 / 2 y 5667 / 3 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación -ICONTEC-, 1995). El área de estudio corresponde al sitio de captación del acueducto urbano del municipio de Purificación (Tolima), cuya localización se describe en la figura 4. Las coordenadas del punto de toma de muestras se definen en la tabla 3.

Figura 4. Localización del municipio de Purificación (Tolima)

Fuente:

<http://www.mapasparacolorear.com/colombia/mapa-departamento-tolima-municipios.png> modificado por los autores



Tabla 3. Localización del punto de toma de muestras de agua
Fuente: Los autores

Ubicación	Coordenadas
Bocatoma del sistema de urbano del municipio de Purificación (Tolima)	03° 50' 58.196" N 74° 56' 79.26" W

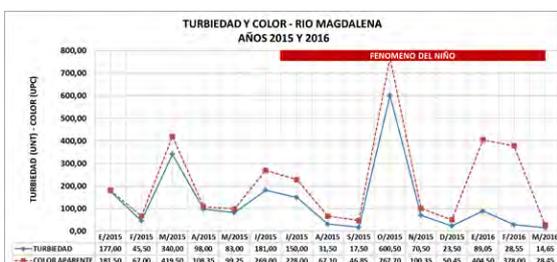
El municipio de Purificación es estratégico para el desarrollo socio-económico del departamento del Tolima al ser uno de los 4 municipios que generan el 61 % del PIB y donde se concentra la actividad productiva, además de ser el primero de los 13 municipios productores de petróleo. Está involucrado junto a Coyaima y Natagaima en el megaproyecto del distrito de riego Triángulo del Tolima (Delgado, Ulloa y Ramírez, 2015), que adecuará 20.402 hectáreas de cultivo.

Resultados

Los resultados obtenidos de la calidad del agua del río Magdalena en el municipio de Purificación – Tolima, a partir de los muestreos realizados durante el año 2015 y primer trimestre de 2016, se refiere a la concentración y comportamiento de su turbiedad, color aparente, pH, temperatura, dureza total, fosfatos, nitratos, nitritos, cloruros, hierro y micro-organismos mesófilos.

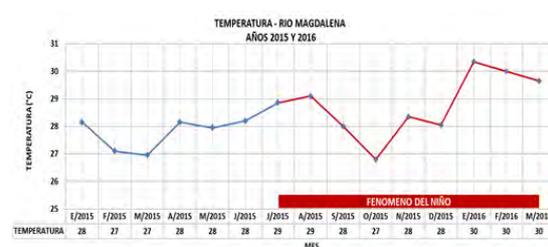
Las temporadas de lluvia que se presentan en la región, aumentan la turbiedad y el color aparente cuyo comportamiento en general tiende a ser similar, a diferencia del primer trimestre del año 2016 donde el color presentó concentraciones altas, como se muestra en la figura 5. Al comparar la turbiedad ocurrida durante el primer trimestre de 2016, periodo influenciado por el fenómeno El Niño, disminuyó su concentración con relación al primer trimestre de 2015 que no lo estuvo, lo cual no ocurrió con el color.

Figura 5. Turbiedad del agua del río Magdalena, municipio de Purificación (Tolima)
Fuente: Elaborado por los autores



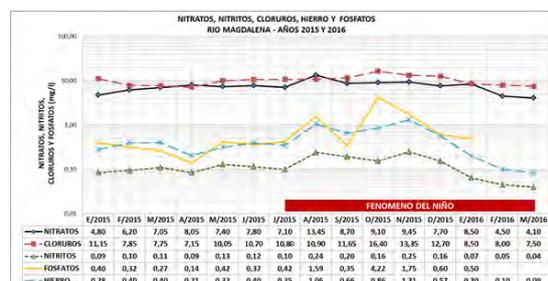
El río Magdalena presenta temperaturas que pueden oscilar entre 27 °C y 29 °C, pero el fenómeno El Niño la aumentó por encima de este valor y para los meses de enero y febrero de 2016 estuvo en los 30 °C en promedio, como se puede apreciar en la figura 6, lo que trajo consigo disminución del caudal del río según se indicó en la figura 1 en diferentes puntos a lo largo del río, y en la figura 2 en el municipio de Girardot.

Figura 6. Temperatura del agua del río Magdalena, municipio de Purificación (Tolima)
Fuente: Elaborado por los autores



Las sustancias disueltas (sales) evaluadas en el agua del río Magdalena: nitratos, nitritos, cloruros, hierro y fosfatos, en general presentaron similares comportamiento de concentraciones en el tiempo, según se puede definir en la figura 7, tendiendo a aumentar durante la primera mitad del tiempo de duración del fenómeno El Niño, para luego disminuir especialmente en el primer trimestre del año 2016.

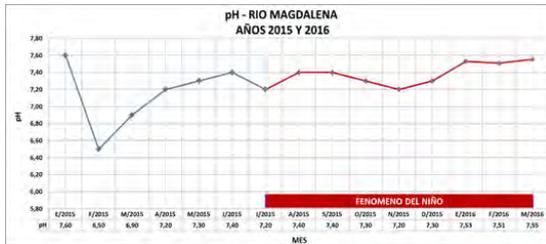
Figura 7. Nitratos, nitritos, cloruros, hierro y fosfatos en el agua del río Magdalena, municipio de Purificación (Tolima)
Fuente: Elaborado por los autores



El pH durante la ocurrencia del fenómeno se comportó espacial y temporalmente similar que antes de su ocurrencia, como se puede deducir de la figura 8, pero su tendencia en el primer trimestre de 2016 fue a aumentar.

Figura 8. pH del agua del río Magdalena, municipio de Purificación (Tolima)

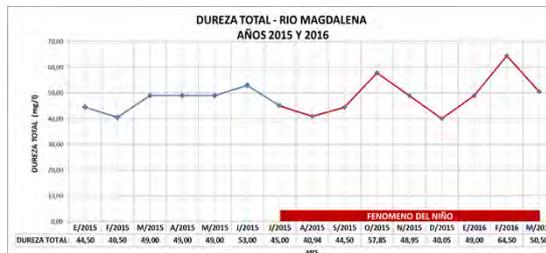
Fuente: Elaborado por los autores



La dureza total presentó variaciones durante la ocurrencia del fenómeno El Niño, con tendencia a aumentar en los meses de octubre de 2015 y febrero de 2016, como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Dureza total del agua del río Magdalena, municipio de Purificación (Tolima)

Fuente: Elaborado por los autores



Con la ocurrencia del fenómeno El Niño se incrementó significativamente la concentración de micro-organismos mesófilos en el río Magdalena, según se indica en la figura 10.

Figura 10. Micro-organismos mesófilos en el agua del río Magdalena, municipio de Purificación (Tolima)

Fuente: Elaborado por los autores



Discusión

El fenómeno El Niño 2015-2016 influyó en la calidad física, química y microbiológica del agua del río Magdalena, de acuerdo con el muestreo realizado en el municipio de Purificación durante el año 2015 y el primer trimestre de 2016, ocasionando variación de la concentración de los indicadores evaluados en el cuerpo de agua, entre los cuales resaltan el aumento de la temperatura ambiente y, por ende, del agua, y la disminución de la precipitación que conllevó a pérdida de caudal del río que es una fuente superficial crucial para el abastecimiento humano en buena parte del territorio nacional.

Este aumento de temperatura del agua incrementó el gradiente de velocidad de la mezcla rápida y de floculación en detrimento de su eficiencia al afectar la intensidad de agitación de estos procesos de carácter convencional, que dependen de la densidad y viscosidad cinemática del agua. Adicionalmente, este incremento térmico puede afectar la eficiencia de la sedimentación de alta tasa por el aumento de la viscosidad cinemática del agua que incrementa el número de Reynolds y, por ende, del movimiento del fluido.

La disminución de caudal del río Magdalena ocasionada por el fenómeno El Niño aumentó significativamente la contaminación microbiológica del agua que puede incidir en la salud humana, pues se evidencia la falta de control sanitario y ambiental en su cuenca alta, donde las actividades antrópicas que generan residuales líquidos no poseen tratamiento alguno y se vierten al cuerpo de agua, contraviniendo lo establecido en el Decreto 3930 respecto a la prohibición de vertimientos, especialmente en cabeceras de fuentes de agua, en un sector aguas arriba de bocatomas, o que ocasionen altos riesgos para la salud (Presidencia de la República de Colombia, 2010).

El riesgo de contaminación fecal es latente en el río Magdalena e incrementado por la ocurrencia de este fenómeno, que puede conllevar la presencia de quistes de Giardia y Cryptosporidium, dos protozoos cuyas patologías se dan en la presumible indefensión en que se encuentra la sociedad desarrollada frente a unos agentes que atraviesan con relativa facilidad las barreras de las plantas potabilizadoras y para los que, por lo menos para la criptosporidiasis, no existe ningún tratamiento farmacológico eficaz (Doménech, 2003). La concentración de nitritos, fosfatos y hierro tendió a aumentar durante la primera mitad de ocurrencia del fenómeno El Niño, a valores de riesgo para la salud humana, si se tiene en cuenta que por tratarse de sustancias disueltas son de difícil remoción en sistemas de tratamiento convencional del agua. Según la Red Madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas

Residuales con Contaminantes no Biodegradables, “el nitrato es un anión estable y altamente soluble en agua con un bajo potencial para la co-precipitación o adsorción, lo que conduce a que tratamientos convencionales de aguas como la filtración o el ablandamiento no sean adecuados para su eliminación”, por lo que se requieren procesos no convencionales como el intercambio iónico (2009), del cual adolecen los sistemas convencionales existentes en la región central de Colombia y especialmente en Purificación.

Ello puede llevar al consumo en el agua tratada de alta concentración de nitritos, como se manifestó durante la primera mitad de ocurrencia del fenómeno El Niño, cuyo riesgo, según el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU., puede causar la metahemoglobinemia que comprende al cambio en la hemoglobina que reduce su capacidad para transportar oxígeno a los tejidos, así como caída de la presión sanguínea, aumento del pulso, dolores de cabeza, calambres abdominales, vómitos y aun la muerte, especialmente en población infantil; todo ello dependiendo de la concentración y tiempo de exposición (2015). Con relación a su incidencia en carcinogenicidad, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) determinó que hay evidencia limitada basada en la asociación con el aumento de cáncer al estómago (Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU., 2015).

Al igual que los nitritos, los fosfatos no son removidos eficientemente en el tratamiento convencional del agua para consumo, especialmente cuando presenta concentraciones altas como las obtenidas en el río Magdalena durante el fenómeno El Niño, pudiendo causar problemas de salud, como es daño a los riñones y osteoporosis (Lenntech), porque elevadas concentraciones de fósforo en la sangre podrían aumentar la desmineralización ósea, lo que es un problema para personas con enfermedades renales severas al aumentarles el riesgo cardiovascular por aparición de un tipo de arterosclerosis, como la del colesterol en vasos sanguíneos, según lo expuesto por el nutricionista y director de Investigación y Publicaciones de la Universidad SEK-Chile, Pedro Prieto-Hontoria (Hernández, 2015).

Además, altas concentraciones de fosfatos coadyuvan a la eutrofización y, por consiguiente, al aumento del crecimiento de algas, lo cual trae como consecuencia la pérdida de oxígeno en el cuerpo de agua, y constituye un riesgo de especial evaluación hacia el futuro porque puede contribuir al crecimiento de potenciales cianobacterias presentes en el río Magdalena, provenientes del agua de algunos ambientes lénticos como el embalse de Betania donde, según el estudio realizado por Comba, se encontraron niveles de

microcistinas por encima de lo establecido por la Organización Mundial de la Salud; siendo ello un riesgo para el ambiente y, por ende, para la salud humana (Comba, 2009).

Conclusiones

El fenómeno El Niño se manifiesta con significativa disminución del caudal del río Magdalena y alta concentración de algunos contaminantes químicos que implican riesgo a la salud humana, lo cual es de especial interés para el control de calidad del agua para consumo por parte de los entes prestadores del servicio de acueducto en la región quienes, para futuros fenómenos de El Niño, podrían modificar las condiciones actuales de operación de potabilización del agua, o mejorar el tren de tratamiento para garantizar agua apta para consumo humano.

Se evaluó el efecto del fenómeno El Niño en la calidad del agua río Magdalena, sistema de captación del acueducto de Purificación, pero se recomienda investigar qué cambios sufre dicho río en otras localidades que lo aprovechan para abastecimiento humano, en la ocurrencia de este tipo de fenómenos, lo cual permitirá tomar decisiones que mitiguen sus efectos.

Agradecimientos

A la empresa de servicios públicos PURIFICA E. S. P. Oficial y a la ingeniera química Andrea del Pilar Rodríguez Silvestre, por el apoyo brindado a la presente investigación.

Referencias

- Aguas de Girardot, Ricaurte y la Región ACUAGYR S. A. ESP. (2016). Nivel del río Magdalena. Recuperado de <http://www.acuagyr.com/>
- Andrade, L. & Ríos, C. (2014). Variabilidad Climática y Caudales Mínimos en los Andes Ecuatorianos. Revista EPN, 33(1). Recuperado el 22/09/2017 de <file:///E:/U.P/SEMILLERO%20AGUAS%20DEL%20ALTO%20MAGDALENA/ARTICULOS%20CIENTIFICOS%202017/REVISTA%20PRODUCCION%20+LIMPIA%202017/Articulo%20variabilidad%20clim%C3%A1tica%20de%20Andrade%20y%20Rios.pdf>
- Atlas cuenca del río Magdalena. (2012). Recuperado el 06/06/2017 de wiki.ead.pucv.cl/images/1/1b/Atlas_cuenca_del_rio_magdalena_version_final.pdf
- Bedoya, M.; Contreras, C. & Ruiz, F. (2010). Alteraciones del régimen Hidrológico y de la oferta Hídrica por variabilidad y cambio climático. Estudio Nacional del Agua. IDEAM. Bogotá, Colombia.

- Bernal, E. (2013). El Río Magdalena: Escenario primordial de la patria. Banco de la República, Actividad cultural. Recuperado de <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/revistas/credencial/junio-2013/el-rio-magdalena>
- Bohn, V.; Piccolo, M. & Perillo, G. (2011). Análisis de los períodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista de Climatología*, 11, 31-43.
- Comba, N. (2009). Las cianobacterias como indicadores de calidad de agua en el embalse de Betania (cuenca alta del río Magdalena). (Tesis de pre-grado). Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales, Programa de Biología Marina. Bogotá, Colombia.
- Delgado, M.; Ulloa, C. & Ramírez, J. (2015). La economía del departamento del Tolima: diagnóstico y perspectivas de mediano plazo. Fedesarrollo. Bogotá, Colombia.
- Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU. (2015). Resumen de Salud Pública: Nitrato y Nitrito. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades-División de Toxicología y Ciencias de la Salud. Recuperado el 21/06/2017 de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs204.pdf
- Doménech, J. (2003). *Cryptosporidium* y *Giardia*, problemas emergentes en el agua de consumo humano. *Sanidad Ambiental*, 22(11), 112-116.
- El País. (2016). Ideam mantiene alerta por bajos caudales de los ríos Cauca y Magdalena. Recuperado el 15/05/2017 de <http://www.elpais.com.co/elpais/colombia/noticias/ideam-emite-o-alerta-roja-por-bajos-niveles-rios-cauca-y-magdalena>.
- Fernández, M. (2013). Efectos del cambio climático en el rendimiento de tres cultivos mediante el uso del Modelo AquaCrop. Fondo financiero de proyectos de desarrollo –FONADE, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales– IDEAM, Banco Interamericano de Desarrollo –BID–. Bogotá, Colombia.
- García, M.; Piñeros, A.; Bernal, F. & Ardila E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. Universidad de los Andes. Bogotá D. C., Colombia. *Revista de Ingeniería*, 36, 60-64.
- Hernández, D. (2015). El fósforo en exceso puede causar daños a la salud. *Medicina Preventiva Santafé*. Recuperado el 05/06/2017 de <http://medicinapreventiva.info/generalidades/23132/el-fosforo-en-exceso-puede-causar-danos-a-la-salud-por-linternista/>.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. (1995). *Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo*. Bogotá, Colombia.
- Landa, R.; Magaña, V. & Neri, C. (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lenntech (s. f.). *Propiedades del Fósforo - Efectos del Fósforo sobre la salud - Efectos ambientales del fósforo. Water treatment solutions*. Recuperado el 05/06/2017 de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/p.htm#ixzz4kq4cAeug>
- Ortiz-Romero, L.; Delgado-Tascón, J.; Pardo-Rodríguez, D.; Murillo- Perea, E. & Guio- Duque, A. (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena-tramo Tolima, Colombia. *Tumbaga*, 2(10), 43-60.
- Peña, A.; Ramírez, V.; Valencia, J. & Jaramillo, A. (2012). La lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia. Gerencia Técnica, Programa de Investigación Científica, Fondo Nacional del Café.
- Pereyra, D.; Murrieta, B. & Baizabal, N. (2004). Influencia de la niña y el niño sobre la precipitación de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 20(39), 33-38.
- Pinilla, M. & Pinzón, P. (2012). Influencia del ciclo ENOS sobre la precipitación en los municipios de Betulia, San Vicente de Chucurí, Zapatoca y Girón, departamento de Santander, Colombia. Plan de Manejo Ambiental, proyecto hidroeléctrico Sogamoso, Colombia.
- Ponce, Y. & Cantú, C. (2012). Cambio climático: bases científicas y escepticismo. *CULCyT*, 9(46), 5-12.
- Presidencia de la República de Colombia. (2010). Decreto 3930: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III-Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia: La Presidencia.
- Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios. (2013). *Río Magdalena: informe social, económico y ambiental*. Procuraduría General de la Nación. Barranquilla, Colombia.
- Quirós-Badilla, E. & Alfaro, E. (2009). Algunos aspectos relacionados con la Variabilidad Climática en la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Climatología*, 9, 33-44.
- Red Madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas Residuales con Contaminantes no Biodegradables (2009).

Tratamientos actuales en la eliminación de nitratos.
Recuperado de
<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2009/06/02/119366>.

Restrepo, J. (2005). Los sedimentos del río Magdalena. Departamento de Geología, Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.

Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAM. (2017). Fenómenos del Niño y la Niña. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ninoyniña>.

Valencia, M.; Figueroa, A.; Ruiz, D.; Otero, J.; Martínez, J.; Ceballos, V. y González, D. (2014). Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. Ingenierías Universidad de Medellín, 13(25), 29-43.