

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ALGODONAL EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ABREGO Y OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

MICROBIOLOGICAL OF THE QUALITY OF WATER OF THE ALGODONAL RIVER IN THE SECTION BETWEEN THE MUNICIPALITIES OF ÁBREGO AND OCAÑA, NORTH OF SANTANDER

Esp. Rocío Miranda^a, Ing. Royman D. Ramírez^b, Ph. D. Wilson Angarita Castilla^c

^a Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, MINDALA
Ocaña, Colombia, ramirandas@ufpso.edu.co

^b Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, MINDALA
Cr 12 No 14-51, Ocaña, Colombia, roiman17@outlook.es

^c Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, MINDALA
Ocaña, Colombia, wangaritac@ufpso.edu.co

Fecha de recepción: 31-10-2016

Fecha de aprobación: 06-12-2016

Resumen: Durante el período comprendido entre marzo y septiembre de 2016 se realizó la evaluación de la calidad microbiológica del Río algodonal en el tramo entre el municipio de Abrego y Ocaña, para lo cual se establecieron cinco (5) Estaciones de control y aforo (E) a lo largo del cauce principal, cuya selección se basó en a la metodología del IDEAM aplicada para la determinación de la calidad del agua de fuentes superficiales. Dicha investigación busco determinar la contaminación microbiológica (densidad de bacterias) de la fuente hídrica a fin de conocer la calidad sanitaria del agua cruda, la cual es destinada para consumo humano; los resultados arrojados se evaluaron de acuerdo a los parámetros definidos en los estándares nacionales e internacionales de calidad contemplados (Decreto N°1594 de 1984), la OMS (1996) y resolución 2115 de (2007). En el muestreo físico y microbiológico se tomaron muestras simples y puntuales para la evaluación de las variables microbiológicas (Coliformes fecales y *E.coli*). De acuerdo a los resultados de evaluación de calidad microbiológica con base a Diagramas Box-plot (cajas y bigotes) que permiten observar gráficamente la tendencia de agrupación del 25%, 50% y 75% de los datos para interpretar la desviación de los datos, se concluye que los resultados están por debajo de los valores máximos permitidos de la normatividad, lo que significa que el agua no presenta contaminación y/o alteraciones de la calidad microbiológica. A manera de conclusión según la evaluación de la calidad del agua cruda del Río Algodonal es apta para consumo humano previo a un adecuado tratamiento de potabilización.

Palabras clave: Contaminación microbiológica, calidad del agua, grupo de Coliformes, bacterias, agua apta consumo humano, fuentes de agua superficiales, aguas residuales, materia orgánica.

Abstract: During the period between March and September 2016, the microbiological quality of the Algodonal river was carried out in the section between the municipality of Abrego and Ocaña, for which in Five seasons of (5) Control and Capacity were established along the main channel, whose selection was based on the IDEAM methodology of the applied IDEAM for the determination of water quality from superficial sources. This research aimed to determine the microbiological contamination (density of bacteria of the Coliformes group) from the water source in order to know the sanitary quality of the raw water, which is destined for human consumption. The results were evaluated according to the parameters defined in the national and international standards of quality contemplated (Decree No. 1594 of 1984), WHO (1996) and resolution 2115 of (2007). In the physical and microbiological sampling, simple and punctual samples were taken for the evaluation of the microbiological variables (fecal coliforms and E. coli). According to the results of microbiological quality evaluation based on Box-Plot Diagrams that allow to graphically observe the tendency of grouping 25%, 50%, and 75% to interpret the deviation of the data. It is concluded that the results are below the maximum allowed values of the regulation, which means that the water does not present contamination and / or alterations of the microbiological quality. By way of conclusion according to the evaluation of the raw water quality of the Algodonal River is suitable for human consumption prior to an adequate treatment of purification.

Keywords: microbiological contamination, water quality, microbiological group, bacteria, water suitable for human consumption, surface water source, wastewater, organic matter, water management, sampling, on-site observation, flows, control station and capacity.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural fundamental e insustituible, sin el cual no es posible la vida, ni la actividad del hombre (Hanssen, 1996); necesario para el funcionamiento de los procesos biológicos y ambientales (ecosistémicos) e imprescindible para el Desarrollo individual, social y económico en el marco de la sostenibilidad, como lo son las actividades socioeconómicas asociadas con su aprovechamiento en los diferentes usos (consumo humano, producción de alimentos, industrial, recreacional y demás), pero lastimosamente existe la problemática socio ambiental en el marco de la gestión del recurso hídrico es la afectación a la calidad físico, química y microbiológica del agua de las cuencas abastecedoras de agua en Colombia, asociada a los impactos generados por los vertimientos de aguas

residuales domésticas, vertimientos de las actividades de explotación minero-energética, sistemas de producción agropecuaria insostenible y el manejo inadecuado y transporte de sustancias peligrosas; donde las corrientes hídricas se ha convertido en el cuerpo receptor de los efluentes generados por el hombre en el desarrollo de sus actividades; tal como lo afirma el autor Sierra (2011):” *Problema actual en cuanto a la calidad del agua que se tiene es que surge principalmente por las descargas de residuos provenientes de actividades humanas y naturales que , de alguna manera afectan el uso deseable¹ del agua*”.

¹ Ministerio de Agricultura, 1984. Decreto N°1594 de 1984. Reglamentación “Usos del Agua y Residuos Líquidos”, Art 29.

Es importante resaltar que la carga contaminante de materia orgánica producto de las aguas residuales tanto urbanas como vertimientos del sector rural sin ningún pretratamiento generan contaminación microbiológica al agua, tal como lo afirma Lozano G., Pulido M., & Álvarez J. (2010): “ *el continuo e impecable vertido de aguas residuales debido a los usos del agua en las cuencas hidrográficas conlleva a la degradación de los ríos en muchas cuenca en el mundo, a pesar de los esfuerzos por la descontaminación de las aguas residuales en las cuencas, ya que estos no han sido coordinados dentro de una valoración integral de acuerdo a con las condiciones en muchas de estas cuencas*”.

El Río Algodonal nace en el páramo de Jurisdicciones en el municipio de Abrego específicamente en la laguna de Pan de Azúcar, ubicada a una altura en promedio de sobre la cota 3.800 m.s.n.m., donde nace el río Frio, y río Oroque, que aguas abajo de la cuenca se forma la confluencia de ambos ríos para formar el *Río Algodonal*, el cual es considerado como la principal fuente abastecedora de agua para la Población de los municipios de Abrego y Ocaña del Norte de Santander, la cual es susceptible a procesos de contaminación hídrica y reducción de caudales (oferta hídrica) debido a la fuerte presión que se ejerce sobre el recurso para el desarrollo de las diferentes actividades de la población, pues, éste se convirtió en el cuerpo receptor de todo tipo de vertimiento sin ningún tipo de tratamiento previo, es decir, una cloaca, donde las aguas residuales sobre todo domesticas vierten directamente a la fuente, factores causantes de posibles procesos de alteración a las propiedades físico-químicas y microbiológicas del recurso hídrico, situación que trae consigo afectación directa a la calidad del agua e indirecta a la salud

pública y alteraciones al desarrollo y funcionamiento de los ecosistemas.

Por consiguiente es necesario el análisis periódico de la calidad microbiológico del agua del Río Algodonal, el cual exige de un monitoreo y valoración permanente, integrando etapas de: muestreos en puntos estratégicos del río a intervalos de tiempos bajo regulación con el fin de obtener datos con veracidad que se utilizan para determinar las condiciones de calidad² actuales del sistema hídrico (causa-efecto) mediante la interpretación y reporte de resultados que se conviertan en un insumo técnico para la toma decisiones por parte de las autoridades competentes responsables de garantizar condiciones óptimas de calidad al recurso con el fin de responder a las necesidades de acceso al agua potables y de saneamiento.

2. METODOLOGÍA

Se Realizó un muestreo trimestral a partir de Marzo de 2016 durante siete (7) meses, definida de acuerdo al procedimiento establecido por la EPA (2005) (Environment Protection Agency), el INS (2011) (Instituto Nacional de Salud); Los cuales estandarizan procedimientos para la evaluación de variables en cuerpos lóticos de agua dulce.

La conservación de las muestras se realizó de forma *in situ*, siguiendo la tabla “técnicas de preservación de muestras” estandarizada en los Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater,

² De acuerdo a estándares a nivel nacional (Decreto Nº 1594 DE 1984, Decreto Nº 3930 del 2010, Reglamento Técnico Agua Potable, Ley Nº 715 de 2001, Resolución Nº 2115 de 2007) e internacional (Lineamientos internacionales de la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA y Standard Methods, edición 21 del 2005).

22th, Edition, (2012). Se seleccionaron un Subgrupo de muestras seleccionadas de manera aleatoria o mecánicamente de la población presente en las cinco (5) unidades de análisis, es decir Estaciones de control y aforo (E), *seleccionadas estratégicamente ubicadas a distancias aleatorias en el*

gradiente del río algodonal para las temporadas estacionales de más lluvias y menos lluvias típicas de la región. Desde la Confluencia de los Ríos Frío y Río Oroque hasta Aguas arriba de la planta de Tratamiento de Agua Potable de la Empresa de Servicios Público de Ocaña –ESPO-. Para distribuir las distancias entre estaciones se siguió la metodología propuesta por el IDEAM, (2006) el cual dice que entre estaciones a monitorear grupos bio-indicadores procurarse en la medida de lo posible distancias similares, excepto cuando las condiciones topográficas o de otra índole no lo permitan.

Para realizar el muestreo físico y

Estaciones de control	Localización	Geográficas		Altitud (m.s.n.m)
		Latitud	Longitud	
Estación 1 (E1)	Nacimiento Río Algodonal	8°4'51,8"	73°12'02,4"	1373
Estación 2 (E2)	Hasta 100 m. aguas arriba de la laguna oxidación de Abrego.	8°5'47"	73°13'10,2"	1337
Estación 3 (E3)	Hasta 100 m. aguas abajo de laguna oxidación de Abrego	8° 5' 43,2"	73° 13' 19,2"	1357
Estación 4 (E4)	Punto San Luis	8°11'26,4"	73°18'54,2"	1249
Estación 5 (E5)	Hasta 500 m. Aguas arriba de la torre de captación de Ocaña.	8°12'04"	73°19'08"	1231

microbiológico se tomaron muestras puntuales e integradas en cada estación Hasta el ingreso al laboratorio Así mismo para evitar filtraciones y derrames de la muestra, los frascos se sellaron con tapa hermética y se embalaron con cinta de enmascarar, cartón y cinta transparente.

El Método seleccionado para el éxito de la investigación es Explicativo basado en la evaluación estadística que busca el análisis correlacional y determinación de la desviación estándar para la significancia estadística de los resultados de cada variable analizada a fin de evaluar su resultado según parámetro establecido en la legislación vigente para analizar la calidad físico microbiológica del agua de fuentes superficiales con fines de consumo humano (Decreto 1594/1984, Resolución 2115 de 2007 y demás normas reglamentarias) según cada valor por periodo de muestreo. La Evaluación de la calidad microbiológica del agua del Río Algodonal se basó en el análisis Bacteriológico según Diagramas Box-plot (cajas y bigotes) que permite observar gráficamente la tendencia de agrupación del 25%, 50% y 75% de los datos para interpretar la desviación de los datos. Adicionalmente, se puede presentar los valores atípicos del muestreo

Variables

De acuerdo al estudio las variables físicas y microbiológicas que se contemplaron en el plan de muestreo para evaluar la calidad microbiológica del agua para del Río Algodonal se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1 Variables de investigación

VARIABLE FISICO	LIMITE DE DETECCION*	METODO
-----------------	----------------------	--------

Ph, Temperatura	0.1/5.0	SM 4500.H+B, 2550-B
Color	-	SM 2120 C
Turbiedad	-	SM 2130B
Alcalinidad Total	6,24 mg/L	SM 2320 B
Potencial De Hidrogeno	Unidades de pH	Electrométrico
Oxígeno Disuelto	0.2 mg/l	% SATURACION
Conductividad	1000 uS/Cm	Electrométrico
VARIABLE MICROBIOLÓGICO	LIMITE DE DETECCION*	METODO
Coliformes Totales	NMP	SM9221-BCEF ³
Coliformes Fecales - E-Coli	NMP	SM9221-BCEF

* Los límites de detección del laboratorio contratado certificado por el IDEAM

Fuente: APHA, AWWA, WPF Standar Methods edición 22 (2012).

Parámetros de Evaluación de resultados

En la siguiente tabla se establecen los estándares nacionales con los límites permisibles fijados de acuerdo al decreto 1594 (1984) para la destinación del recurso para consumo humano y la resolución 2115/2007 (criterios de agua potable) expedida por el ministerio de la protección social y ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, (2007) y los estándares internacionales expedidos por la OMS (1996). Por consiguiente los parámetros de

³ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22^a Ed.2012

calidad para las Aguas crudas destinadas al consumo Humano son:

Tabla 2. Parámetros de evaluación

Parámetros	Expresados (Mg/L) ¹	LÍMITES PERMISIBLES	
		Norma Nacional Decretos 1594/84	Guidelines for Drinking Water Quality OMS (1996) ²
Alcalinidad	mg/l (CaCO ₃)	100	NR
Color Real	UptCo	1,0	15
conductividad	µS/cm	NR	NR
Temperatura	°C	NR	
Turbiedad	NTU	NR	5 ⁶
PARAMETROS BACTERIOLÓGICOS			
Coliformes totales	NMP	20.000 microorganismos/100mL	ND
Coliformes fecales	NMP	2.000 microorganismos/100ml	ND

Fuente: Autores con información *adaptada de: Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd edition* Vol.3, Organización Mundial de la Salud, (1997). Geneva, Ginebra Suiza.

Esta técnica de muestreo garantiza un volumen suficiente que permite el análisis o la posible identificación de los siguientes Grupos microbiológicos⁴ (Standard Methods

⁴ El grupo coliformes incluye bacilos Gram negativos, aeróbios y anaeróbios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa formando ácido y gas dentro de 48 hrs.a 35°C. Este grupo incluye a los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*.

Grupo Coliformes fecales se definen como bacilos gram negativos aeróbios y anaeróbios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa formando ácido y gas dentro de 24 hrs. a 44,5 ± 0,2°C. En la actualidad se utiliza el grupo coliformes fecales, especialmente para calificar sanitariamente la calidad del agua.

for the examination of water & wastewater, 2005): Coliformes Totales y *Escherichia coli*.

Tratamiento de la información

Los resultados del análisis Bacteriológico se representaron en Diagramas Box-plot (cajas y bigotes) que permite observar gráficamente la tendencia de agrupación del 25%, 50% y 75% de los datos y presentar los valores atípicos del muestreo. Los análisis estadísticos fueron realizados Utilizando los paquetes de Software estadísticos PAST[®] versión 3.13 y SPSS Versión 23.

3. RESULTADOS

Caracterización organoléptica del río algodonal

se determinó en cada Estación de control definida, cuyo análisis arrojó lo siguiente:

Estación 1. Presenta un color aparente amarillento derivado quizá del contacto con el detritus orgánico como hojas y madera en diversos estados de descomposición que estuvieron presentes en las márgenes del río. Es muy probable que el aporte del color aparente café se deba también a la presencia de diatomeas y algas *cyanophyceae* identificadas en diferentes sustratos a lo largo de la sección. Realizando una aproximación edafológica del río, presentó

un estero arenoso y pedregoso que facilita el arrastre e intercambio de sedimentos en suspensión. No se detectó presencia de olores ofensivos sin embargo, la variedad de extractos vegetales en descomposición aporta un olor tolerable característico sin representar factores de contaminación importantes.

Estación 2. Presentó un color aparente café amarillento menos profundo que la primera estación para temporada de menos lluvias.

Parámetro	Muestreo en Temporada Más Lluvias					Muestreo en Temporada menos Lluvia				
	03-abr-16					16-Junio-2016				
	E1	E2	E3	E4	E5	E1	E2	E3	E4	E5
Caudal	1,009	0,773	1,08	2,375	2,711	0,555	0,686	0,99	1,74	1,72
Recuento Coliformes Totales	540	2500	700	3500	1600	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100
Recuento <i>E. coli</i>	790	750	700	330	130	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100

Sin embargo a diferencia del primer punto, no se percibieron sustratos vegetales en descomposición. Por otra parte, para el segundo sub-muestro en periodo menos lluvias se percibieron olores a pescado que si bien puede provenir de clase de algas *chlorophyceae*; también, según DIGESA (2014) puede tener su origen en vertidos de residuos municipales e industriales o en una actividad microbiana asociada con bacterias reductoras de metano. Cabe aclarar que las lluvias atípicas de días anteriores (efecto de variabilidad climática del periodo) pudieron haber provocado una reoxigenación del flujo y la activación de bacterias del género Coliformes que son útiles para destruir la materia orgánica en procesos biológicos.

Estación 3. Se observa el mismo color aparente del punto 2. No obstante, desaparecen los olores ofensivos. La presencia de un rápido en la sección, de bordes salientes con vegetación macrófita y troncos leñosos propicia hogar y sustrato para macro-invertebrados y algas bentónicas que reactivan procesos biológicos de degradación-oxigenación convirtiendo la lámina de agua en inodora, al mismo tiempo que bio-indican mejor calidad del agua.

Estación 4. Esta estación presentó la mayor concentración de sólidos en suspensión que daban al agua su color aparente. La tabla de resultados físico-químicos confirma un valor mayor de color real (26 UPtCo) frente a los demás puntos monitoreados. El estero de la sección con un sustrato fangoso compuesta por una lámina de depósitos de sedimentos acumulados en el tiempo se convierte en el mayor aporte de material en suspensión de la lámina de agua en un ciclo de depósito-remoción atribuida a las fluctuaciones de río. No obstante, la sección es inodora sin que eso esté relacionada específicamente a la presencia de actividad biológica importante. Ya que no se avistaron suficientes hábitats que pudieran generar la discusión.

Estación 5. Desde el punto de vista organoléptico es el más parecido al punto 1. Al margen de todos los afluentes que descargan vertimientos agrícolas y aguas residuales domésticas (ARD) durante todo el recorrido hasta la estación 5. El agua es café claro, por lo agregados de detritos orgánicos. Inodora con presencia de múltiples hábitats en la sección del río, con mayor diversidad de especies vegetales reconocidas a los márgenes que por rizofiltración pueden coadyuvar a la aireación del agua a la vez que sirven de sustrato a especies algales que prestan el mismo servicio.

Resultados de variables microbiológicas

Tabla 3. Variables Microbiológicas

De acuerdo a los resultados arrojados se realizó un análisis estadístico descriptivo de variables microbiológicas Coliformes fecales y *E. Coli*, cuya relación muestra la dispersión y simetría de distribución de los datos con un 95% de nivel de confianza; tal como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 4 resultados del Análisis estadístico de variables

	Estadístico	Error estándar	
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Media	3360,00	1480,630
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	10,58
		Límite superior	6709,42
	Mediana	1100,00	
	Varianza	21922666,667	
	Desviación estándar	4682,165	
	Mínimo	700	
	Máximo	16000	
	Asimetría	2,640	,687
	Curtosis	7,343	1,334
Escherichia coli (NMP/100 mL)	Media	820,00	111,972
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	566,70
		Límite superior	1073,30
	Mediana	945,00	

Varianza	125377,778	
Desviación estándar	354,087	
Mínimo	130	
Máximo	1100	
Asimetría	-1,059	,687
Curtosis	,038	1,334

4. DISCUSION DE RESULTADOS

Los parámetros microbiológicos evaluados en el muestreo de más lluvias estuvieron por debajo de los valores máximos permisibles establecidos en el capítulo IV del decreto 1594/84 (criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico) y de las normativas internacionales establecidas por la OMS - Organización Mundial de la Salud-, (2008) en la tercera edición de las guías para la calidad del agua potable.

El comportamiento de las variables entre las estaciones y periodos de muestreos es similar al observado para otros ríos de Colombia con alturas y condiciones similares como es el caso de Mosnalve D & Bustamante T, (2009) quienes determinaron interrelaciones entre los componentes del caudal ecológico en el tramo Boquía-Puente Balboa en el río Quindío. Contrarios a estos resultados son los publicados por la Organización Promotora Medio Ambiental, quienes en el (2008), monitorearon la cantidad y calidad del agua en once (11) tramos del río algodónal y el río obteniendo reportes de Oxígeno disuelto, DBO₅, Sólidos Suspendidos totales, Nitritos, nitratos por encima de los valores máximos permisibles. Esto significa que la calidad actual del agua

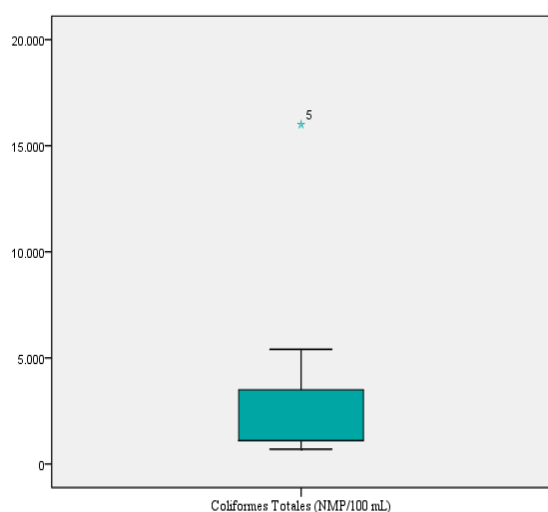
del río algodónal ha mejorado significativamente respecto a los reportes de 2008. El diagrama de cajas y bigotes para Coliformes fecales (figura 10) toma los datos reportados como >1100 NMP/100 mL para Establecer la base del valor mínimo. También registra que el valor máximo con un 95 % de confianza se encontró en el punto de nacimiento del río algodónal (E1) con 5400 NMP/100 mL.

Adicionalmente, la gráfica manifiesta valores atípicos en la estación aguas arriba de la bocatoma de ESPO S.A (E5) con 16000 NMP/100 mL. Es probable que estos valores se deban a una lluvia repentina que provocaron interferencias en el muestreo microbiológico por una crecida súbita del caudal del río, traducido en mayor concentración de material en suspensión y material de arrastre del fondo y márgenes del río. En consecuencia, los datos microbiológicos tomados sobre la interferencia, resultaron en valores atípicos de concentración.

Por otra parte el diagrama de cajas y bigotes para la evaluación de *E. coli* entre las estaciones y periodos de muestreo (figura 11) presenta un resultado mínimo de 130 NMP/100 mL monitoreado en el punto aguas arriba de la bocatoma de ESPO (E5). Así mismo demuestra que el 25 % de los resultados oscilan entre 330-750 NMP/100 mL y que el 50% de los resultados, se ubican posiblemente sobre la media de 945 NMP/100. Esto es, eliminando el error típico de reporte continuo a 1100 NMP/100 mL que a su vez, es el valor literal máximo reportado durante el muestreo de menos lluvias.

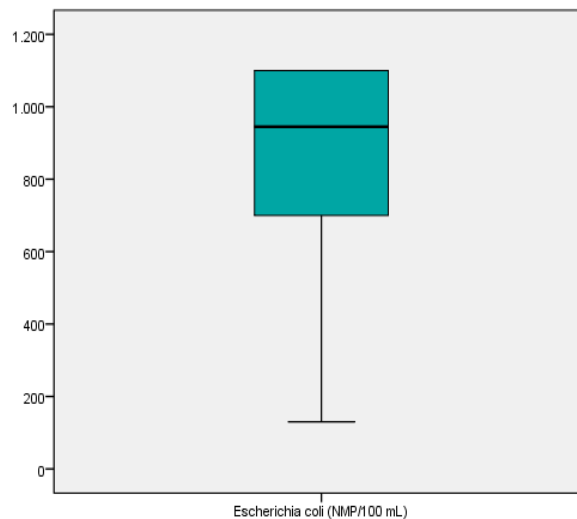
En términos de calidad, la concentración promedio de *E. coli* entre las estaciones no es representativa de alta contaminación por carga orgánica en el río Algodonal que supongan condiciones rigurosas de desinfección. Tal como se evidencia en la siguiente Figura N°2 donde se representan los resultados del análisis según el Diagrama Box-Plot para Coliformes fecales y *E coli*:

Figura 2. Box-Plot para Coliformes fecales.



Fuente. Autores de la investigación.

Figura 3. Diagrama Box-Plot para *E. coli*.



Fuente. Autores de la investigación.

Los resultados obtenidos en el recuento de Coliformes totales y *E.coli* en ambos muestreos presentan una mejoría significativa sobre el reporte publicado por la Asociación Promotora Medioambiental (2008), quienes determinaron que el NMP/100 mL de coliformes fecales monitoreado en once (11) estaciones sobre el río algodonal durante tres (3) muestreos sobrepasaron los límites permisibles en las estaciones: Aguas arriba y aguas abajo de la laguna de estabilización de Abrego, Punto san Luis (E2, E3, E4) respectivamente.

En general estos registros indican que los resultados de recuentos de Coliformes totales y *E.coli* realizados en las cinco (5) unidades de análisis están dentro de los límites legales permisibles referidos en el artículo 38 del Decreto 1594/84 sobre la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional (acueducto). Es decir, que la fuente de agua del río algodonal en ambos periodos de muestreo es

segura para la potabilización, mas no lo es para un proceso basado solamente en desinfección.

De forma puntual en el tiempo, el nivel bajo de contaminación por sólidos suspendidos para el primer muestreo, puede estar asociado a las escorrentías derivadas de las lluvias y para el segundo muestreo, a los menores caudales propios de la época seca del año. El vertimiento de la laguna de estabilización del municipio de Abrego al río algodonal genera niveles bajos de contaminación atribuidos al cambio de temperatura al entrar en contacto con el sistema hídrico en la estación 3 (aguas debajo de la laguna de oxidación). En efecto, En igual medida, se producen alteraciones en las reacciones químicas y procesos biológicos en los diferentes niveles de profundidad de la lámina de agua donde se evidencia en la Tabla N°1 los resultados del reporte físico y microbiológico resultados que son confirmados por la presencia de macroinvertebrados acuáticos, detectados mediante el índice BMWP/col, los cuales reportan dinámica del ecosistema en la Estación de control (E3), lo que da indicio que no existe alteración a la calidad del agua gracias a la rápida capacidad de autodepuración del río.

5: CONCLUSIONES

Los resultados de caudales evaluados en las estaciones E1 (nacimiento del río Algodonal) y E2 (Aguas arriba de la laguna de Oxidación) E4 (punto San Luis, Aguas debajo de los vertimientos del corregimiento de la Ermita y el Municipio de la Playa); E5 (Punto la cabaña, Aguas arriba de la Torre de captación de ESPO SA ESP) durante las épocas de más y menos lluvias estuvieron

por debajo de los registros mínimos obtenidos para los mismos periodo por la investigación de la Asociación Promotora Medioambiental (2008). Indicando que las condiciones hidráulicas de la fuente de agua se vió afectada directamente por los efectos colaterales persistentes del fenómeno de variabilidad climática el “niño”.

El diagrama de cajas y bigotes para Coliformes fecales (figura 2) toma los datos reportados como >1100 NMP/100 mL para Establecer la base del valor mínimo. También registra que el valor máximo con un 95 % de confianza se encontró en el punto de nacimiento del río algodonal (E1) con 5400 NMP/100 mL. Adicionalmente, la gráfica manifiesta valores atípicos aguas arriba de la bocatoma de ESPO S.A (E5) con 16000 NMP/100 mL. Es probable que estos valores se deban a una lluvia repentina que provocaron interferencias en el muestreo microbiológico por una crecida súbita del río traducido en mayor concentración de material en suspensión y material de arrastre del fondo y márgenes del río. Por otra parte el diagrama de cajas y bigotes para la evaluación de E. coli entre las estaciones y periodos de muestreo (figura 3) presenta un resultado mínimo de 130 NMP/100 mL monitoreado en el punto Aguas arriba de la bocatoma de ESPO (E5). Así mismo demuestra que el 25 % de los resultados oscilan entre 330-750 NMP/100 mL y que el 50% de los resultados, se ubican posiblemente sobre la media de 945 NMP/100. En términos de calidad, la concentración promedio de E. coli entre las estaciones no es representativa de alta Contaminación por carga orgánica en el río Algodonal que supongan condiciones rigurosas de desinfección.

En este sentido se concluye a nivel general que las variables Microbiológicas analizadas registraron un comportamiento estable entre periodos de estudio y estaciones de muestreo. Se evidenciaron resultados inferiores en temporada de más lluvias por la dilución natural de contaminantes que se produce por el incremento en el nivel de caudal. Ninguna de los parámetros estuvo por encima de los valores máximos permitidos en el capítulo IV decreto 1594/84 “de los criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano” e indican que la fuente de agua es apta para un tratamiento convencional de potabilización. Sin embargo, con base en lo expresado en el artículo 42° del mismo decreto y los resultados de los análisis microbiológico, el río algodónal presenta restricciones para fines recreativos mediante contacto primario. Comportamientos que indican que las condiciones organolépticas, físicas y microbiológicas que se dan en la lámina de agua son adecuadas para el establecimiento y desarrollo de la biota acuática.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con una segunda etapa en la investigación donde se definan los objetivos de calidad del agua con base a los resultados obtenidos en la primera fase de evaluación de la calidad del agua del Río Algodonal. El propósito es orientar la gestión del recurso hídrico hacia la clase de río que se desea tener. Es importante continuar con el monitoreo de calidad del recurso hídrico por cuanto se evidenció que los criterios de calidad pueden cambiar incluso significativamente entre estaciones y periodos de muestreo (más lluvias y menos lluvias). De este modo, se puede evaluar la efectividad de los planes de prevención y mejoramiento de las condiciones

ambientales gestionadas en la zona por las autoridades ambientales.

Es imprescindible la divulgación de los resultados y el alcance obtenido en esta investigación. No solo porque desarrolló un concepto de calidad actual del río algodónal con integralidad, sino también porque ofrece una visión global de estado de los ecosistemas acuáticos al interior del cauce y la sinergia con los procesos de contaminación. Útiles para entender la capacidad de resistencia y auto recuperación de la dinámica natural ante eventos no deseados y emergencias ambientales.

Los resultados alarmantes del monitoreo del nivel de caudales en proceso de recuperación por un efecto de variabilidad climática como lo fue el fenómeno del niño, sugiere que es urgente el establecimiento de coberturas vegetales en las márgenes del río algodónal. Esta medida, traería un beneficio doble: la recuperación natural en los niveles de caudal y el mejoramiento de la calidad del agua en respuesta a un aumento en la calidad de la ribera.

Promover e incentivar a la comunidad universitaria de ingeniería ambiental y programas afines a proponer y desarrollar investigaciones académicas más detalladas orientadas a la evaluación de la calidad el agua de las principales corrientes hídricas y sus tributarios presentes en la cuenca del río algodónal; mediante la aplicación de índices bióticos, índices de contaminación. Que procuren más que emitir un valor de calidad, desagregar los tipos de contaminación presentes en el tiempo y espacio en las fuentes naturales de agua.

7. BIBLIOGRAFÍA

(American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (21 ed.). (P. C. Federation, Ed.) New York, Estados Unidos: Americas Water Works Association.

Cantera Kindz, J. R., Carvajal E, Y., & Castro H, L. M. (2009). *Caudal Ambiental: Conceptos, Experiencias y Desafíos*. (U. d. Valle, Ed.) Cali, Valle, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.

NSF: Casos Ríos Cali y Meléndez. Universidad del Valle, Valle. Cali: Departamento de Producción e investigación de Operaciones.

Corporacion Autonoma de la Frntera Nororiental, 2006. Plan de Ordenacion y Manejo de la Cuenca del Rio Algodonal POMCA.

Ramírez, A., & y Viña, G. (1998). *Limnología Colombiana. Aportes a sus conocimientos y Estadísticas de Análisis*. (F. U. Lozano, Ed.) Bogotá, D.C, Colombia: BP.

Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del Agua. Evaluaación y Diagnóstico* (1 ed.). (L. D. Escobar, Ed.) Medellín, Antioquia, Colombia: Ediciones de la U.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22^a Ed.2012