

**CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA DE LOS RÍOS MANAURE Y CASACARÁ,
DEPARTAMENTO DEL CESAR, COLOMBIA**

Yainis Maolis Barahona Castillo¹ 

Jorge Alberto Luna Fontalvo² 

Isaac Manuel Romero Borja³ 

Recibido el 13 de julio de 2016, aprobado el 27 de marzo de 2017, actualizado el 20 de diciembre de 2017

DOI: 10.17151/luaz.2018.46.7

RESUMEN

Se evaluó la calidad microbiológica del agua de los ríos Manaure y Casacará (departamento del Cesar, Colombia) durante la temporada de lluvias y de sequía. Se estimaron las concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella* a través del método del Sustrato Definido. Los valores de coliformes totales y coliformes fecales se compararon con la normatividad colombiana (Resolución 2115 del 2007 y Decretos 1594 del 1984 y 3930 de 2010). Los resultados de los parámetros microbiológicos evaluados fueron variables para ambos ríos en las dos épocas climáticas, siendo mayores en la temporada de sequía. Se determinó que la presencia de las bacterias indicadoras de contaminación fecal y potencialmente patógenas en los ríos estudiados se debe a los vertimientos aledaños de aguas residuales domésticas, agrícolas y asentamientos humanos que condicionan la calidad y el uso de recurso hídrico establecido por la normatividad colombiana.

PALABRAS CLAVE

Coliformes, contaminación de ríos, exposición a riesgos ambientales, patógenos, parámetros fisicoquímicos.

**BACTERIOLOGICAL QUALITY OF THE WATER OF THE MANAURE AND CASACARA RIVERS,
DEPARTMENT OF CESAR, COLOMBIA**

ABSTRACT

The microbiological quality of the water of the Manaure and Casacará rivers (department of Cesar, Colombia) was evaluated during the rainy and dry season. The concentrations of total coliforms, fecal coliforms, fecal enterococcus, *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella* were determined through the Defined Substrate method. The values of total coliforms and fecal coliforms were compared with the Colombian regulations (Resolution 2115 of 2007 and decrees 1594 of 1984 and 3930 of 2010). The results of the microbiological parameters evaluated were variable for both rivers, being higher in the dry season. It was determined that the presence of fecal contamination indicators and potentially pathogenic bacteria in the studied rivers is due to the surrounding discharges of

domestic and agricultural wastewater, and to human settlements that condition the quality and use of water resources established by Colombian regulations.

KEYWORDS

Coliforms, environmental risks exposure, pathogens, physicochemical parameters, river contamination.

INTRODUCCIÓN

Los ríos de montaña de los departamentos del Cesar y Magdalena han experimentado gradualmente un progresivo deterioro en la calidad y cantidad del agua, producto del inadecuado manejo de sus cuencas y actividades antrópicas como la tala, quema, invasión de riveras, erosión y vertimiento de residuos sólidos y líquidos (Manjarrés y Manjarrés, 2004; Barahona, 2014).

Los ríos Manaure y Casacará, por su ubicación dentro del departamento del Cesar, son de gran importancia para sus municipios, puesto que se han convertido en fuentes abastecedoras de agua potable, recreacionales, usos agrícolas, ganadería y pecuarios en general. Sin embargo, estos ríos en algunos sectores son utilizados como puntos de descargas de desechos sólidos, aguas residuales domésticas y agroindustriales, provocando su degradación y contaminación. Así mismo, propician el desequilibrio de los ecosistemas y del medio ambiente, además de las implicaciones que esto puede tener en la salud de los asentamientos humanos aledañas a lo largo de toda su cuenca (Corpocesar, 2013).

Aunque existen controles en la calidad microbiológica del agua de corrientes superficiales, es necesario monitorear y evaluar la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal y potencialmente patógenos como los coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales, *Clostridium* sulfito reductor, *Aeromonas*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*, *Shigella*, entre otras. No obstante, determinar los tipos de microorganismos presentes en el agua y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad de la misma y para la toma de decisiones en el control de vertimientos y tratamiento de aguas, ya que algunos patógenos pueden estar presentes en el agua en ausencia del grupo coliformes (Arcos *et al.*, 2005; Kittinger *et al.*, 2013).

Estudios nacionales e internacionales sobre la calidad microbiológica del agua de diferentes fuentes hídricas han utilizado una serie de microorganismos patógenos e indicadores de contaminación fecal, entre estos se encuentran los coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis* para el control de aguas de embalses artificiales (Shubiao *et al.*, 2016); también se ha propuesto el uso de *Clostridium perfringens* como un indicador de contaminación fecal antigua en fuentes superficiales (Francy *et al.*, 2000; Campos *et al.*, 2008). Por otro lado, Kacar (2011) realizó un estudio en diferentes ríos de Turquía sobre las variaciones en los niveles de contaminación fecal dada por coliformes y estreptococos, los resultados encontrados

demonstraron que la contaminación microbiana de los ríos obedece principalmente al vertimiento directo de aguas residuales. Así mismo, a las fuentes hídricas superficiales se les ha relacionado con algunos microorganismos de importancia sanitaria como *Salmonella*, *Shigella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas*, *Vibrio cholerae*, *Campylobacter jejuni*, *Yersinia enterocolitica*, *Legionella*, *Leptospira* patogénicas, entre otras, derivadas de la contaminación por materia fecal de origen humano y animal (APHA-AWWA-WPCF, 2005; Ávila y Estupiñán, 2006; Warning y Datta, 2013).

Los parámetros microbiológicos que actualmente se exigen de acuerdo a la normatividad colombiana (Decreto 1594 de 1984 y Decreto 3930 de 2010) son el recuento de coliformes totales, coliformes fecales, incluyendo a la *Escherichia coli*, los cuales son obligatorios para consumo humano, uso doméstico, preservación de fauna y flora, agrícola, pecuario, recreativo mediante contacto primario y secundario, estético, pesca, maricultura y acuicultura como también el uso industrial (MAVDT, 2010; Betancur *et al.*, 2011; Arroyave *et al.*, 2012).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la calidad microbiológica de los ríos Manaure y Casacará en la temporada lluviosa y seca, a partir de las concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella*; adicionalmente se estimaron algunos parámetros fisicoquímicos y se correlacionaron con los grupos microbianos analizados. Por último, se realizó un diagnóstico sobre la destinación del agua para su uso más factible de acuerdo a la normatividad colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los ríos Casacará y Manaure nacen en la Serranía del Perijá a una altura de 3.400 y 3.450 m.s.n.m respectivamente, son considerados ríos de montaña y vierten sus aguas al río Cesar. El recorrido total de la cuenca del río Casacará es de 105 Km y posee un caudal promedio anual de 7.6 m³/s con un área total de 121.600 ha de las cuales el 78% corresponde al municipio de Agustín Codazzi y un 22% al municipio de Becerril. Por su parte, la cuenca del río Manaure recorre un total de 91 Km en un área de 11.336 ha y un caudal promedio anual de 6.3 m³/s (Alcaldía de Becerril, 2010; Luquez y Ardila, 2011; Alcaldía de Manaure Balcón del Cesar, 2013).

Se ubicaron seis estaciones en cada uno de los ríos y se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la Guía Metodológica de la Política Nacional del Recurso Hídrico y la Metodología General para la presentación de estudios ambientales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) (MAVDT, 2010). Las estaciones establecidas en el río Manaure en orden ascendente fueron el Arroyo Doña Flor (E1), Captación Acueducto Manaure (E2), Balneario Caracolí (E3), Sistema de tratamiento de aguas residuales STAR Manaure (E4), Balneario Casa Blanca (E5) y Finca Pereira (E6) (Figura 1). En ese mismo orden para el río Casacará las estaciones

correspondieron al Arroyo Trementina (E1), Vereda Carrizal (E2), Acueducto Casacará (E3), Finca María Josefa (E4), Puente Amarillo (E5) y la Intercesión río Sicararé – río Casacará (E6) (Figura 2).

Los registros de precipitaciones históricas reportados por el IDEAM entre los años 1990 hasta 2009 (IDEAM, 2009) sirvieron de referencia para la selección de las temporadas de lluvias y de sequías. En este sentido, los muestreos se realizaron entre los meses de octubre-noviembre del 2010 y junio-julio de 2011, siguiendo la guía para el Monitoreo y Seguimiento del agua (IDEAM, 2004). Adicionalmente, se realizaron observaciones y anotaciones sobre las actividades económicas de los sectores, fuentes puntuales de contaminación de los ríos, bocatomas de acueductos y zonas de riego.

Toma de muestras

Las muestras de agua fueron tomadas con frascos tapa rosca de vidrio de 500 mL estériles, y se sumergieron en la columna de agua a contra corriente a 30 cm de profundidad. Inmediatamente se rotularon con el sitio con fecha y hora; por cada estación se colectaron tres réplicas de 500 mL cada una y se refrigeraron a 4°C hasta ser transportadas en un tiempo menor a 6 horas al Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad del Magdalena, donde se procesaron inmediatamente. De manera simultánea, se realizó la determinación *in situ* de los parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto con un multiparámetro WTW 350i/set 2F40-114BOE a través del método potenciométrico (IDEAM, 2004; APHA-AWWA-WPCF, 2005).



Figura 1. Área de estudio y puntos de Muestreos establecidos en el Río Manaure. Fuente: CORPOCESAR – UNIMAGDALENA, 2010. Formulación de los planes de ordenamiento y manejo ambiental del río Manaure, Municipio de Manaure.

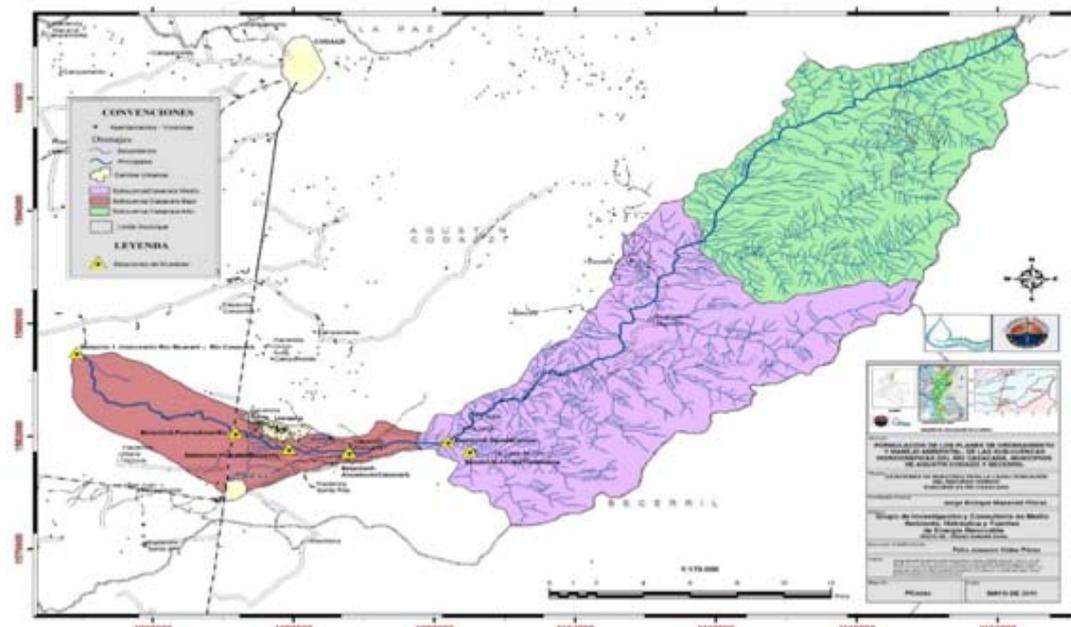


Figura 2. Área de estudio y puntos de Muestras establecidos en el Río Casacará. Fuente: CORPOCESAR – UNIMAGDALENA, 2010. Formulación de los planes de ordenamiento y manejo ambiental de las sub-cuencas hidrográficas del río Casacará, Municipios de Agustín Codazzi y Becerril.

Determinación de parámetros microbiológicos

Los parámetros microbiológicos evaluados en este estudio correspondieron a los exigidos por la normatividad colombiana para la calidad del agua (Decreto 1594 de 1984; Decreto 3930 de 2010; Resolución 2115 de 2007). Se cuantificaron los coliformes totales y coliformes fecales a través del método del Sustrato Definido (DST) Colilert®-18/Quanti Tray® propuesto por IDEXX (2008). Así mismo, se estimaron algunos parámetros recomendados por el APHA-AWWA-WPCF (2005) como enterococos fecales, *P. aeruginosa* y *Salmonella* mediante la técnica del Sustrato Definido Enterolert®, Pseudalert® y el método cualitativo de aislamiento selectivo para *Salmonella* según la norma ISO 6579:2002 (IDEXX, 2008, International Standard ISO, 2002). Los cultivos para el recuento del NMP de coliformes, enterococos y *Pseudomonas* se incubaron a 35°C durante 22 horas mientras que los cultivos de *Salmonella* se prolongaron hasta 112 horas a la misma temperatura indicada.

Diagnóstico del recurso hídrico de los ríos Manaure y Casacará de acuerdo con la normatividad colombiana

Los resultados de los análisis microbiológicos obtenidos en las muestras de agua de los ríos Manaure y Casacará se compararon con la normatividad colombiana vigente para la calidad del agua.

La Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social (MPS) y el MAVDT (2007) establece los criterios y requisitos (organolépticos, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos) para el agua destinada para consumo humano y uso doméstico.

Los Decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010 referencian los valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para los diferentes usos del agua.

Análisis estadístico

A los valores de los parámetros microbiológicos evaluados les aplicaron transformación de datos y se compararon en términos estacionales a través de un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%. Se realizó el test estadístico de Kolmogorov-Smirnov para comparar la distribución de las variables microbiológicas entre los ríos Manaure y Casacará y un análisis Clúster para establecer el grado de similitud. Por último, se realizó por separado un análisis de correlación de Spearman entre los recuentos de coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales y *P. aeruginosa* con los parámetros fisicoquímicos seleccionados (temperatura, pH y conductividad eléctrica).

Los análisis se realizaron con los paquetes estadísticos STATGRAPHICS Centurión versión XV y SPSS versión 20.0.0.

RESULTADOS

Los resultados de los parámetros microbiológicos evaluados en el río Manaure mostraron variaciones en las dos épocas climáticas. Por consiguiente, los recuentos de coliformes totales (1986,3 NMP/100mL) y coliformes fecales (85,6 NMP/100mL) fueron más altos durante la temporada de sequía, obtenidos en las estaciones E3 y E6 respectivamente. Por lo contrario, las estimaciones de enterococos fecales (79,8 NMP/100mL) y *P. aeruginosa* (14,4 NMP/100mL) registradas en la estación E4 fueron mayores en el periodo de lluvias. Así mismo, los valores más bajos de coliformes totales (76,1 NMP/100mL), coliformes fecales (3,6 NMP/100mL) y enterococos fecales (10,0 NMP/100mL) se determinaron en la estación E5 para la época de lluvias, a excepción de *P. aeruginosa* (1,5 NMP/100mL) que se presentó en la estación E3 durante la sequía (Figura 3). Se determinaron diferencias significativas entre los recuentos de NMP/100ml de cada uno de los parámetros microbiológicos entre las estaciones monitoreadas del río Manaure durante las dos temporadas climáticas ($p \leq 0,05$).

En ese mismo orden, el río Casacará presentó la mayor concentración de coliformes totales (2419,2 NMP/100mL) en la estación E3 para el tiempo de sequía, mientras que en el periodo de lluvias fueron superiores las cuantificaciones de coliformes fecales (118,6 NMP/100mL), enterococos fecales (20,6 NMP/100mL) y *P. aeruginosa* (6,4 NMP/100mL) registradas en las estaciones E2 y E4 respectivamente. Por lo contrario, las estimaciones más bajas de coliformes totales (75,8 NMP/100mL) y coliformes fecales (2,2 NMP/100mL) se obtuvieron en la época de lluvias y las de enterococos fecales (2,6 NMP/100mL) y *P. aeruginosa* (1,5 NMP/100mL) en la temporada seca

(Figura 4). Se establecieron diferencias significativas entre los parámetros microbiológicos analizados para las dos temporadas climáticas monitoreadas ($P \leq 0,05$).

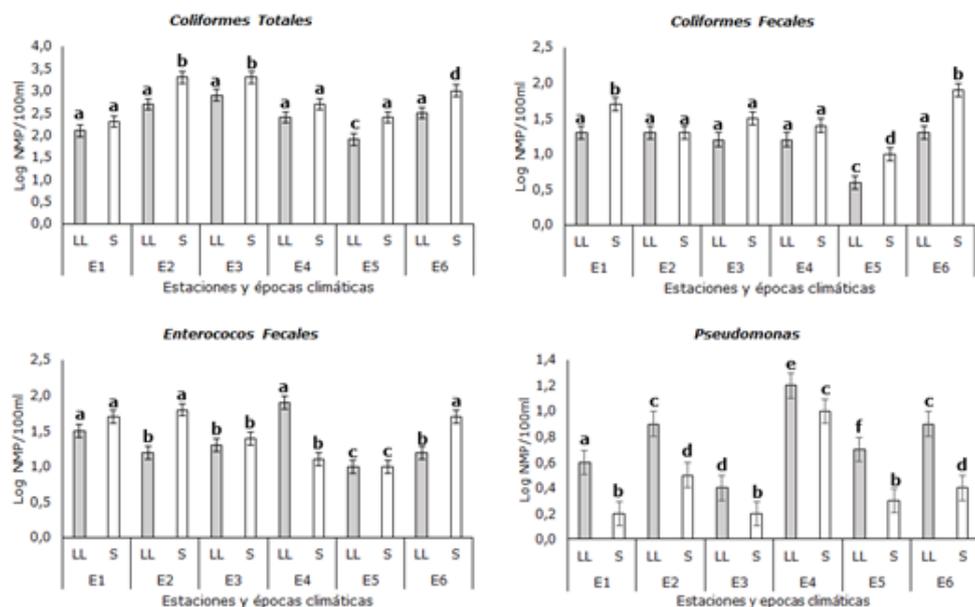


Figura 3. Distribución del NMP/100 ml de coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales y *Pseudomonas aeruginosa* en el río Manaure durante las dos temporadas climáticas (LL: lluvia – S: sequía). Fuente: los autores.

Nota: Los valores representan la media de tres repeticiones, con barras de error estándar. Medias con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$).

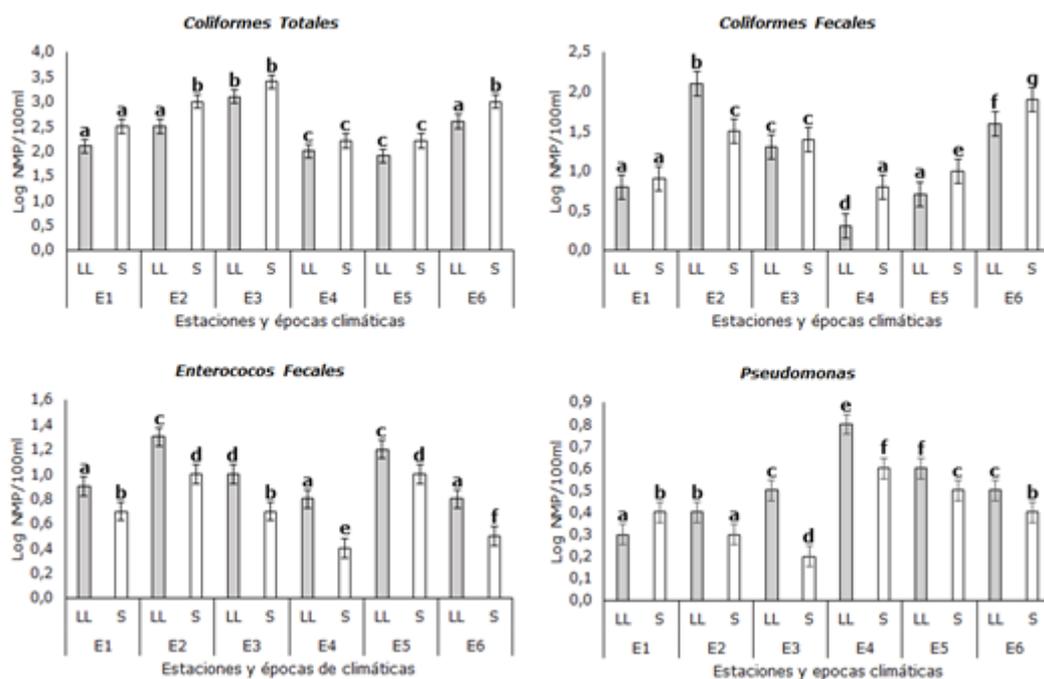


Figura 4. Distribución del NMP/100 ml de coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales y *Pseudomonas aeruginosa* en el río Casacará durante las dos temporadas climáticas (LL: lluvia – S: sequía). Fuente: los autores.

Nota: Los valores representan el promedio de tres repeticiones. Los valores representan la media de tres repeticiones, con barras de error estándar. Medias con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$).

Los análisis de aislamiento e identificación del género *Salmonella* a partir de las muestras de agua de los ríos Manaure y Casacará, solo fueron detectados en las estaciones E4 y E6 tanto en la temporada de lluvias como en la de sequía (Tabla 1).

Tabla 1.

Estaciones	<i>Salmonella</i>	
	Periodo de Lluvias	Periodo de Sequía
Estación 1	Ausente	Ausente
Estación 2	Ausente	Ausente
Estación 3	Ausente	Ausente
Estación 4	Presente	Presente
Estación 5	Ausente	Ausente
Estación 6	Presente	Ausente

Fuente: los autores.

La Tabla 2 muestra los valores de los parámetros fisicoquímicos evaluados *in situ*. La temperatura del agua registrada en las dos temporadas climáticas mostró variaciones entre las estaciones, manteniéndose aproximadamente entre los 13,2°C – 27,7°C (Río Manaure) y 22°C – 32°C (Río Casacará). Los valores de pH de los sistemas hídricos tanto en la temporada de lluvias como de sequía mantuvieron una tendencia hacia la alcalinidad, comprendiendo valores desde 7,3 - 8,6 (sequía) hasta 7,3 - 8,8 (lluvias). Mientras, que los valores correspondientes a la conductividad eléctrica fueron mayores en la época seca (156 – 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Así mismo, los niveles de oxígeno disuelto registraron concentraciones con rangos desde 5,8 - 9,8 mg/L (temporada de sequía) y de 8,2 – 12,2 mg/L (temporada de lluvias).

Tabla 2.

Ríos	Estaciones	Temperatura (°C)		pH		Conductividad (µs/cm)		Oxígeno disuelto (mg/L)	
		Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia
Río Manaure	E1	13,2	11,8	7,7	7,4	234,0	420,0	10,8	6,1
	E2	19,2	20,8	8,6	8,5	228,0	289,0	12,2	6,5
	E3	19,5	21,3	8,6	8,4	228,0	292,0	9,5	6,7
	E4	20,5	23,3	8,6	8,3	241,0	323,0	12,0	6,4
	E5	21,9	24,5	8,8	8,4	273,0	363,0	11,3	5,8
	E6	23,5	27,7	8,6	8,4	302,0	393,0	8,9	5,9
Río Casacará	E1	22,4	21,4	8,0	8,6	122,0	179,0	8,2	9,8
	E2	23,5	23,1	7,4	8,5	115,0	156,0	9,8	9,4
	E3	22,5	23,7	7,7	8,5	116,1	157,0	10,6	9,9
	E4	23,5	24,5	7,7	8,4	126,2	162,0	9,3	9,4
	E5	22,5	31,4	7,7	8,6	131,2	172,0	9,1	6,5
	E6	24,3	32,7	7,3	7,9	204,0	206,0	7,5	6,5

Fuente: los autores.

La distribución de las variables microbiológicas según el test de Kolmogorov-Smirnov ($P= 0,392009$) no mostró diferencias significativa entre las dos distribuciones, es decir, que el comportamiento microbiológico del río Manaure y el río Casacará es estadísticamente similar ($P \geq 0,05$).

El dendrograma diseñado para el río Manaure (Figura 5) muestra la conformación de tres grupos: 1) Enterococos fecales, *Salmonella* y *P. aeruginosa*, comportamiento altamente homogéneo, 2) Coliformes fecales moderadamente homogéneas y 3) Coliformes totales, correspondiendo al grupo menos homogéneo. Con respecto al río Casacará (Figura 6), se presentó una situación similar, formándose tres grupos: 1) *Salmonella* y *P. aeruginosa*, correspondieron a los parámetros con el comportamiento más homogéneo, 2) Enterococos fecales, moderadamente homogéneo y 3) Coliformes totales y Coliformes fecales, con el comportamiento menos homogéneo. Sin embargo, a diferencia del Río Manaure, aquí se observa la conformación de dos conglomerados que resaltan la diferencia que hay en el comportamiento de los grupos de microorganismos.

El análisis de correlación de Spearman entre los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica) y los niveles de coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales y *P. aeruginosa* evaluados en cada una de las estaciones de los ríos Manaure y Casará en las dos temporadas climáticas, determinaron que no existe una relación directa (relación inversa o indirecta) entre estos.

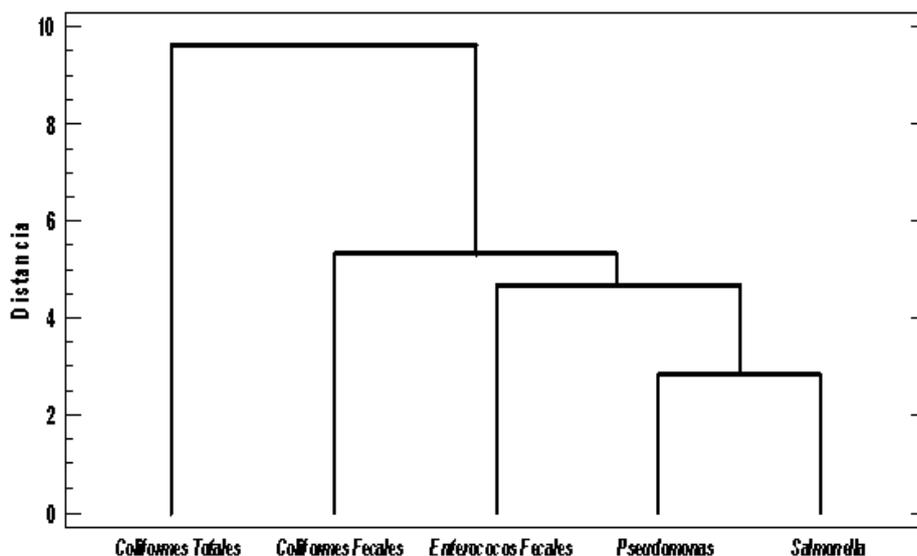


Figura 5. Dendrograma de relaciones existentes entre los parámetros microbiológicos estudiadas en el Río Manaure. Fuente: los autores.

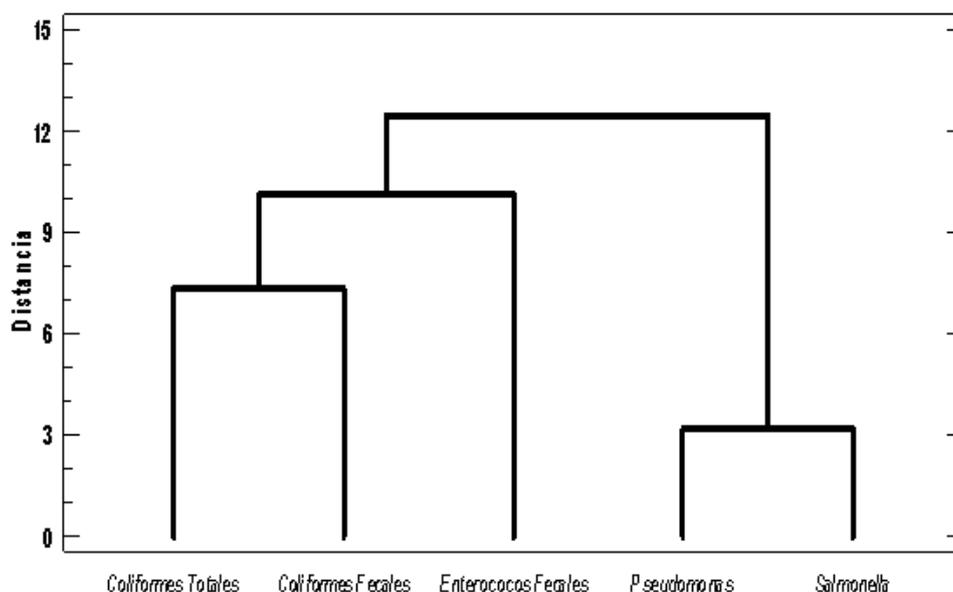


Figura 6. Dendrograma de relaciones existentes entre los parámetros microbiológicos estudiadas en el Río Casacará. Fuente: los autores.

La aproximación al uso más factible del recurso hídrico de los ríos Manaure y Casacará, se hizo teniendo en cuenta las principales actividades de destinación del agua que se presentan en los dos municipios, incluyendo los asentamientos humanos aledaños a ellos; entre los usos más comunes del agua se encontraron: captación de bocatomas para tratamiento de potabilización, uso doméstico, consumo directo, sistemas de riegos de cultivos agrícolas, balnearios para uso recreativo y vertimiento de aguas residuales. Con base a la anterior información, las estaciones de muestreos donde se ubican las bocatomas para el proceso de potabilización y los puntos de captación de consumo directo se compararon con la Resolución 2115 de 2007. A su vez, las estaciones de los

ríos proyectadas al uso doméstico, agrícola y recreativo se compararon con los valores referenciados en el Decreto 1594 del 1984 y según lo establecido en el Decreto 3930 del 2010.

Los valores de coliformes totales, coliformes fecales y parámetros fisicoquímicos que resultaron por debajo de los valores establecidos en los decretos anteriormente mencionados, se consideraron aptos para las actividades indicadas (Tablas 3 y 4). La presencia de bacterias coliformes en todas las muestras de ambos ríos imposibilita el uso para consumo directo en humanos. Así mismo, las estaciones donde se determinó la incidencia de *Salmonella* impiden la utilización del recurso para usos doméstico, recreativo y agrícola.

Tabla 3.

Parámetros	Estaciones Río Manaure						Normatividad Colombiana		
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Res. 2115 de 2007 Agua Potable	Dec. 1594/8 4 uso Agrícola	Dec. 1594/84 uso Recreativo
Coliformes totales NMP/100mL	171,6	1210,4	1370,9	376,7	152,2	634,0	0,0	5.000,0	1.000,0
Coliformes fecales (<i>E. coli</i>) NMP/100mL	37,2	20,5	24,4	20,2	7,1	53,8	0,0	1.000,0	200,0
Enterococos fecales NMP/100mL	41,3	41,5	23,5	45,6	10,2	35,6	N.E	N.E	N.E
Temperatura °C	12,5	20,0	20,4	21,9	23,2	25,6	N.E	E.E	N.E
pH unidades	7,5	8,5	8,4	8,5	8,6	8,5	6,5-9,0	4,5 - 9,0	5,0 - 9,0
Conductividad μ S/cm	327,0	258,5	260,0	282,0	318,0	347,5	1000,0	N.E	N.E
Oxígeno Disuelto mg/L	8,5	9,3	8,1	9,2	8,6	7,4	N.E	4,0	7,0

Fuente: los autores.

Tabla 4.

Parámetros	Estaciones Río Casacará						Normatividad Colombiana		
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Res. de 2007	Dec. 1594/84 uso Agrícola	Dec. 1594/84 uso Recreativo
Coliformes totales NMP/100mL	211,3	641,2	1790,4	133,5	199,3	683,1	0,0	5.000,0	1.000,0
Coliformes fecales (E. coli) NMP/100mL	7,8	76,7	21,6	4,0	8,1	65,2	0,0	1.000,0	200,0
Enterococos fecales NMP/100mL	5,9	15,6	7,8	4,5	13,8	4,7	N.E	N.E	N.E
Temperatura °C	21,9	23,3	23,1	24,0	26,9	28,5	N.E	E.E	N.E
pH unidades	8,3	7,9	8,1	8,1	8,2	7,6	6,5-9,0	4,5 - 9,0	5,0 - 9,0
Conductividad μ S/cm	150,5	135,5	136,6	144,1	151,6	205,1	1000,0	N.E	N.E
Oxígeno Disuelto	9,0	9,6	10,3	9,4	7,8	7,0	N.E	4,0	7,0

Fuente: los autores.

DISCUSIÓN

Las concentraciones de coliformes fecales y enterococos fecales en el río Manaure durante el periodo de sequía se atribuyen en gran proporción a los asentamientos humanos de tipo rural ya que al no poseer un plan de recolección de residuos sólidos y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas contribuyen a que el agua de escurrimiento corresponda a este tipo de vertimientos. En las estaciones donde hay balnearios (E3 y E5) se presentaron bajos niveles de bacterias indicadoras de contaminación fecal, posiblemente esto obedezca a la baja influencia de actividades antrópicas relacionadas con la agricultura, la ganadería y las poblaciones aledañas (Arcos *et al.*, 2005; Larrea *et al.*, 2013). Con respecto a las estimaciones de coliformes fecales y enterococos fecales determinados en el río Casacará, en las dos temporadas fueron

proporcionalmente bajos en todas las estaciones monitoreadas; este comportamiento puede explicarse por la no ocurrencia directa de los vertimientos sobre el cauce principal del río, además que éste mantiene un caudal relativamente similar durante todo el año, lo que contribuye a un mayor proceso de dilución de las descargas y autodepuración con respecto a lo que sucede en el río Manaure (Jáuregui *et al.*, 2007; Muñoz *et al.*, 2012; Ospina, 2015).

Estudios realizados por Arango *et al.* (2008) en algunas quebradas de Antioquia indican que estos sistemas hídricos presentan altos niveles de coliformes totales (240 – 4.600.000 NMP/100mL) y coliformes fecales (75 – 11.000.000 NMP/100mL) procedentes del vertimiento de aguas residuales de origen doméstico y agropecuario. Por otro lado, Campos *et al.* (2008) reportan altas concentraciones de contaminación por coliformes fecales en el río Bogotá (4.22 UFC/100mL) y el riesgo que representan para la salud pública. Así mismo, Barros y Cañizares (2001) en un estudio realizado sobre la calidad microbiológica del río Neverí en Venezuela, indican que las variaciones de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales dependen de la altura de la cuenca, siendo los sectores altos los menos contaminados, mientras que la parte media y baja son afectados por asentamientos humanos que carecen de servicios sanitarios y por el vertimiento de aguas residuales de origen doméstico, pluvial e industrial. En ese sentido, las estimaciones de bacterias indicadoras de contaminación fecal evaluadas en los trabajos antes mencionados se relacionan con los efectos de las temporadas climáticas y con las fuentes de contaminación reportadas en este estudio.

Los recuentos de *P. aeruginosa* en los ríos Manaure y Casacará fueron más bajos que los determinados para coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales durante todo el estudio. De acuerdo a De Vicente *et al.*, (1991) la frecuencia de *P. aeruginosa* en aguas de ríos está directamente relacionada con el grado de contaminación fecal derivada de aguas residuales, es decir que esta bacteria suele encontrarse en proporciones logarítmicas (Log 3-4) más bajas que los coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales. Adicionalmente, es considerada como una bacteria no autóctona del agua, patógena oportunista de importancia clínica que causa un amplio rango de infecciones (Kuczynski, 2011).

La presencia de *Salmonella* en este estudio fue detectada solo en dos estaciones relacionadas con el tratamiento de aguas residuales y la actividad agrícola, siendo puntual y persistente para los dos periodos climáticos. Esto coincide con lo reportado por Pastor *et al.* (2015) en un estudio de calidad bacteriológica en el río San Juan, donde la incidencia de *Salmonella* y *Shigella* fueron atribuidas a los efectos derivados de la actividad agrícola y ganadera como también al vertimiento directo de heces humanas y al drenaje provenientes de plantas depuradoras de agua residual. Por otro lado, el hallazgo de *Salmonella* en los sectores muestreados determina una alerta sanitaria debido a que estas bacterias se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, siendo responsables de infecciones gastrointestinales y se constituyen como un problema de salud pública por su prevalencia en el agua (King *et al.*, 2016).

Las determinaciones de temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto analizadas en los ríos Manaure y Casacará durante las dos temporadas climáticas, demostraron tendencias similares para ambos cauces. Posiblemente esto se deba a que los sistemas hídricos que nacen en

el sector de la Serranía del Perijá guardan comportamientos de similitud desde el punto de vista geográfico, socioeconómico y cultural, por tanto se considera que los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos analizados constituyen una base para sistemas de bioindicación y dictamen de la calidad sanitaria del recurso hídrico de este sistema montañoso. Con respecto a la temperatura se observó un gradiente que obedece las variaciones altitudinales de las estaciones de muestreos, mientras que los valores de pH mantuvieron una estabilidad alcalina probablemente por el aporte de sólidos y aguas residuales domésticas con contenido de jabón. La conductividad eléctrica del agua en los dos ríos fue mayor en la temporada de sequía, lo cual indica una homogeneidad y estabilidad del sistema hídrico en cuanto a concentraciones de iones (sólidos disueltos). Así mismo, los niveles de oxígenos disueltos mantuvieron una saturación superior a 6,5 mg/L indicando que estos ríos registran buenos procesos de aireación de la columna de agua.

Romero *et al.* (2011) en un estudio sobre la calidad del agua del río Manzanares (Santa Marta, Colombia) reportaron variaciones de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto semejantes a las determinadas en este estudio. Estos autores afirman que estas condiciones fisicoquímicas ayudan a mantener el equilibrio ecológico de los sistemas acuáticos. Por otro lado, Chara *et al.* (2010) registraron variaciones de temperatura (19,5 -22,1 °C), pH (5,9 - 8,4) y oxígeno disuelto (5,7 mg/L) que se relacionan con el estado de conservación de las quebradas en la cuenca del río La Vieja, Valle del Cauca.

Los análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica) con la presencia de coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales y *Pseudomonas aeruginosa* en ambos ríos determinaron que no se relacionan. Este hecho coincide con lo reportado por Kacar (2011) en un estudio de contaminación fecal en ríos que desembocan en el mar Egeo (Turquía), donde la temperatura, pH y conductividad no se relacionaron con la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales, efecto que se atribuyó a las sales disueltas (iones sodio) en el agua. Por lo contrario, Ahumada *et al.* (2014) en un estudio espacio temporal sobre contaminación bacteriana en un canal drenaje en México, encontraron que la concentración de coliformes fecales y enterococos fecales se correlacionaban con la temperatura, pero no con el porcentaje de oxígeno disuelto.

En este estudio las aproximaciones que se realizaron a la calidad del agua de los ríos Manaure y Casacará se basaron de acuerdo a lo establecido en la normatividad colombiana, presentando en todos sus puntos de muestreos contaminación por coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales, *P. aeruginosa* y en solo dos estaciones la presencia de *Salmonella*, lo que imposibilita que el recurso hídrico pueda ser aprovechado para el consumo directo por los asentamientos humanos aledaños a la cuenca. La resolución 2115 de 2007 establece los requisitos que debe tener el agua potable y toda aquella que sea destinada para el consumo directo, no admitiéndose presencia de coliformes totales y *E. coli* (coliformes fecales). Sin embargo, los niveles determinados de estos parámetros microbiológicos diagnostican que el recurso se encuentra apto para diversos fines, entre los que se destacan: agrícolas, recreativos, preservación de fauna y flora, y aprovechamiento de especies hidrobiológicas del sistema; resultando aceptable para la destinación de actividades domésticas y agrícolas, según lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 (en transición de acuerdo decreto 4728 de 2010).

Estudios sobre la calidad sanitaria del agua como los realizados por Romero *et al.* (2011) en el río Manzanares en diversos períodos climáticos ponen de manifiesto que las variaciones de las características fisicoquímicas dependen de las temporadas de lluvias y de sequía. Así mismo, Campos *et al.* (2008) y Vence *et al.* (2012) recomiendan la búsqueda de microorganismos indicadores de contaminación fecal de manera complementaria a lo que exige la normatividad.

CONCLUSIONES

Se reporta para los ríos Manaure y Casacará la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal (coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales) y potencialmente patógenas (*Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella*) en estaciones afectadas por vertimientos de aguas residuales domésticas, agrícolas, asentamientos humanos y baja cobertura vegetal; además, corresponden a la parte baja de los cauces principales de estos ríos, condicionando la calidad y el uso del recurso hídrico para consumo directo; sin embargo, pueden ser aprovechables para usos agrícolas, doméstico, recreación y preservación de fauna y flora.

Se estima conveniente profundizar en estudios para la selección de parámetros ambientales como capacidad de carga de los sistemas, clasificación y cuantificación de residuos sólidos, vertimientos líquidos y caracterización del lecho de los ríos, que contribuyan a diagnosticar la calidad ambiental del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan los agradecimientos a las siguientes dependencias de la Universidad del Magdalena: Laboratorio de Calidad de Agua, Vicerrectoría de Investigación y Programa de Maestría en Ciencias Ambientales SUE Caribe. Así mismo extienden los agradecimientos a la Corporación Autónoma del Cesar CORPOCESAR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada, Y., Báez, M., Díaz, S., Uribe, M., López, G. y Vega, R. (2014). Distribución espaciotemporal de la contaminación bacteriana del agua residual agrícola y doméstica descargada a un canal de drenaje (Sinaloa, México). *Cienc Mar*. 40 (4): 277-289. Doi: [Link](#)
- Alcaldía de Becerril Cesar. (2010). Esquema de Ordenamiento Territorial Becerril Cesar 2001–2010: Dimensión Biofísica y Ambiental. Recuperado de [Link](#)

- Alcaldía de Manaure Balcón del Cesar – Cesar. (2013). Gana Manaure Ganamos Todos Con prosperidad a Salvo. Recuperado de [Link](#)
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). (2005). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: APHA.
- Arango, M., Álvarez, L., Arango, G., Torres, O. y Monsalve, A. (2008). Calidad del agua de las Quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. **Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia**, 9, 121-141.
- Arcos, M., Ávila de Navia, S., Estupiñán, S. y Gómez, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. **Nova Publicación Científica en Ciencias Biomédicas**, 3 (4), 69-79
- Arroyave, J., Builes, L. y Rodríguez, E. (2012). La gestión socio-ambiental y el recurso hídrico. **J Eng and Technol** 1 (1), 62-70. Recuperado de [Link](#)
- Ávila, S. y Estupiñán, S. (2006). Calidad bacteriológica del agua del humedal de Jaboque, Bogotá, Colombia. **Caldasía** 28 (1), 67-68. Doi: [Link](#)
- Barahona, Y. (2014). Evaluación de la composición de microorganismos patógenos y su relación con las actividades antrópicas en los ríos Manaure y Casacará departamento del Cesar. Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe y VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental.
- Barrios, A. y Cañizares, N. (2001). Estudio preliminar de la calidad bacteriológica de las aguas del río Neverí, Barcelona, Venezuela. **Saber, Universidad de Oriente** 13 (2), 97-104
- Betancur, T., Campillo, A. y García, V. (2011). Una metodología para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico. **Rev Ing Uni Medellín** 10 (19), 67-78.
- Campos, C., Cárdenas, M. y Guerrero, A. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá (Colombia). **Universitas Scientiarum** 13 (2), 103-108
- Chará, A., Chará, J., Zuñiga, M., Pedraza, G. y Giraldo, L. (2010). Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. **Universitas Scientiarum** 15 (1), 27-36
- Corporación Autónoma del Cesar (CORPOCESAR) y Universidad del Magdalena. (2010). **Formulación de los planes de ordenamiento y manejo ambiental del río Manaure, Municipio de Manaure**. Santa Marta: Grupo de Investigación y consultoría en medio ambiente, hidráulica y fuentes de energía renovable.
- Corporación Autónoma del Cesar (CORPOCESAR) y Universidad del Magdalena. (2010). **Formulación de los planes de ordenamiento y manejo ambiental de las sub-cuencas hidrográficas del río Casacará, Municipios de Agustín Codazzi y Becerril**. Santa Marta: Grupo de Investigación y consultoría en medio ambiente, hidráulica y fuentes de energía renovable.
- Corporación Autónoma del Cesar (CORPOCESAR). (2013). Formulación del plan de ordenamiento del río Cesar informe parcial del diagnóstico final. Valledupar: CORPOCESAR.
- De Vicente, A., Codina, J., Borrego, C. y Romero, P. (1991). Relationship between *Pseudomonas aeruginosa* and bacteria indicators in polluted natural waters. **Wat. Sc. Tech**, 24, 121-24.
- Francy, D., Helsel, D. y Nally, R. (2000). Occurrence and distribution of microbiological indicators in groundwater and stream water. **Water Environ. Res**, 72, 152-161.

- IDEXX. (2008). **Validación del método Colilert®-18/Quanti-Tray® para el recuento de E. coli y de bacterias coliformes en muestras de agua**. EE.UU.: IDEXX Laboratories.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2004). **Guía para el monitoreo y seguimiento del agua**. Bogotá: IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2009). **Valores totales mensuales de precipitaciones (mm) del municipio de Manaure, Cesar. Estación 2801004**. Bogotá: IDEAM.
- International Organization of Standardization (ISO) 6579. (2002). Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the detection of *Salmonella* spp. (4 Ed.) Ginebra: International Organization of Standardization.
- Jáuregui, C., Ramírez, S., Espinosa, M., Tovar, R., Quintero, B. y Rodríguez, I. (2007). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. **Revista Latinoamericana de Recursos Naturales**, 3 (1), 65-73.
- Kacar, C. (2011). Analysis of spatial and temporal variation in the levels of microbial fecal indicators in the major rivers flowing into the Aegean Sea, Turkey. **Ecological Indicators**, 11, 1360-1365. Doi: [Link](#)
- King, A., Ubomba, E., Genthe, B., Ndombo, M. y Momba, B. (2016). Quantitative microbial risk assessment (QMRA) shows increased public health risk associated with exposure to river water under conditions of riverbed sediment resuspension. **Sci Total Environ**, 566-567 (1), 1143-1151.
- Kittinger, C., Marth, E., Reinthaler, F., Zarfel, G., Pichler-Semmelrock, F. y Mascher, W. (2013). Water quality assessment of a Central European River— Does the Directive 2000/60/EC cover all the needs for a comprehensive classification? **Sci Total Environ** 447, 424-429. Doi: [Link](#).
- Kuczynski, D. (2011). Sobre la presencia de patógenos asociados a infecciones nosocomiales en algunos ríos y arroyos bonaerenses. **Inmanencia**, 1, 21-27.
- Larrea, J., Rojas, M., Romeu., B, Rojas, N. y Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. **Revista CENIC Ciencias Biológicas**, 44 (3), 24-34.
- Luquez, J. y Ardila., A. (2011). Plan de Desarrollo Municipal de Manaure Balcón del Cesar 2008-2011 “Ahora le toca al campo”. Manaure: Consejo Municipal de Manaure Balcón del Cesar.
- Manjarrés, G. y Manjarrés, G. (2004). Contribución al conocimiento hidrobiológico de la parte baja de los ríos de la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. **Revista Intropica**, 39-50.
- Ministerio de Agricultura (MA). (1984). Decreto 1594 de junio de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el capítulo II del título VI – Parte III –Libro II y el Título III de la Parte III – Libro I – del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá: Ministerio de Agricultura.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2010). Decreto 3930 de octubre de 2010: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá: Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2010). Decreto 4728 de diciembre de 2010: Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010, se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas

superficiales y a sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones. Bogotá: Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2010). Metodología general para la presentación de estudios ambientales. Bogotá: Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de la Protección Social (MPS) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2007). Resolución 2115 de junio de 2007 por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá: Ministerio de la Protección Social.
- Muñoz-Nava, H., Suárez-Sánchez, J., Vera-Reyes, A., Orozco-Flores, S., Battle-Sales, J., Ortiz-Zamora y Mendiola-Argüelles, J. (2012). Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 28 (1), 27-38.
- Ospina, O. (2015). Análisis de la contaminación microbiológica en el río Combeima, municipio de Ibagué (Tolima, Colombia). *Revista Producción + Limpia*, 10 (2), 92-103.
- Pastor, A., Varela, P., Bianchi, V. y Durando, P. (2015). Calidad bacteriológica del agua del río San Juan en zonas aledañas a la desembocadura del arroyo Los Tapones (San Juan, Argentina). *Natura neotropicalis*, 46 (1), 7-24.
- Romero, I., Luna, J. y Ponce, W. (2011). Calidad sanitaria de las fuentes hídricas de la cuenca baja del río Manzanares, Santa Marta, Colombia. *Rev. Intropica*, 6, 51-62.
- Shubiao, W., Carvalho, P., Müller, J., Remony, V. y Dong, R. (2016). Sanitation in constructed wetlands: A review on the removal of human pathogens and fecal indicators. *Science of the Total Environment* 541, 8–22. Doi: [Link](#)
- Vence, L., Rivera, M., Osorio, Y. y Castillo, A. (2012). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 3 (2), 27-35.
- Warning, A. y Datta, A. (2013). Interdisciplinary engineering approaches to study how pathogenic bacteria interact with fresh produce. *Journal of Food Engineering*, 114 (4), 426-448. Doi: [Link](#)

1. Microbióloga. Estudiante Programa de Maestría en Ciencias Ambientales SUE Caribe, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena. Colombia. Carrera 32 # 22 – 08 San Pedro Alejandrino. PBX (57) (5) 4217940 Ext. 3242. orcid.org/0000-0001-5169-010X Mail: yainisbarahonac@gmail.com
2. M.Sc. Microbiología. Docente Tiempo Completo, Programa de Biología, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena. Colombia. Carrera 32 # 22 – 08 San Pedro Alejandrino. PBX (57) (5) 4217940 Ext. 3242 – 1319. orcid.org/0000-0001-6764-2276 Mail: jorgealbertolunafontalvo@gmail.com
3. Esp. Gestión Ambiental. Coordinador Laboratorio de Calidad de Agua, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena. Colombia. Carrera 32 # 22 – 08 San Pedro Alejandrino. PBX (57) (5) 4217940 Ext. 3272. orcid.org/0000-0002-8409-1039 Mail: romero149@gmail.com

Para citar este artículo: Barahona, Y. M., Luna, J. A., Romero, I. M. (2016). Calidad bacteriológica del agua de los ríos Manaure y Casacará, departamento del Cesar, Colombia. *Revista Luna Azul*, 45, 106-124. Recuperado de <http://200.21.104.25/lunazul/index.php/component/content/article?id=275>. DOI: **10.17151/luaz.2018.46.7**

Este obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](#)

