

**EVALUACIÓN DEL DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO LAS CEIBAS  
OCASIONADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE  
NEIVA, HUILA**

EVALUATION OF THE DETERIORATION OF THE WATER QUALITY OF THE CEIBAS RIVER  
CAUSED BY THE DUMPING OF WASTEWATER IN THE MUNICIPALITY OF NEIVA, HUILA

María Paula Marínez-Nieva<sup>a\*</sup>, Henry Reyes Pineda<sup>a</sup>

<sup>a\*</sup> Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Manizales, Colombia. ORCID Marínez-Nieva, M: <https://orcid.org/0000-0001-8636-235X>;

<sup>a</sup> PhD Ingeniería Química. Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Universidad de Manizales. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3524-8658> [hreyes@umanizales.edu.co](mailto:hreyes@umanizales.edu.co)

Autor de correspondencia: [paulamarni@hotmail.com](mailto:paulamarni@hotmail.com)

## **RESUMEN**

El presente trabajo determina el impacto de la calidad del agua del río Las Ceibas ocasionado por el vertimiento de aguas residuales en el municipio de Neiva, Huila el cual actualmente es empleado como la principal fuente de abastecimiento de agua tanto para actividades domésticas como industriales. Se evaluó de forma cualitativa y cuantitativa los índices de calidad (ICA) y de contaminación (ICOMO) durante el tramo del río analizando los efectos sobre la contaminación orgánica con variables fisicoquímicas y microbiológicas como DBO<sub>5</sub>, Oxígeno disuelto y Coliformes totales en dos épocas climatológicamente diferente del año. Los resultados muestran que los vertimientos domésticos e industriales que son depositados en el río provocan un deterioro en su índice de calidad y presencia de contaminación por alta carga orgánica.

**Palabras claves:** Contaminación, Vertimientos, Calidad, Hídrico, Residuos.

## **ABSTRACT**

This paper determines the impact of the water quality of the Ceibas River caused by the discharge of wastewater in the municipality of Neiva, Huila, which is currently used as the main source of water supply for domestic and industrial activities. The quality (ICA) and contamination (ICOMO) indices were evaluated qualitatively and quantitatively during the river stretch, analyzing the effects on organic contamination with physicochemical and microbiological variables such as

DBO5, Dissolved oxygen and total coliforms in two different climatologically periods of the year. The results show that the domestic and industrial discharges that are deposited in the river cause a deterioration in its quality index and the presence of contamination by high organic load.

**Keywords:** Contamination, water discharge, quality, hydric, waste.

## 1. Introducción

Desde el inicio de la humanidad se han considerado los ríos como grandes fuentes de riqueza y de fertilidad de los suelos que al suministrar agua son imprescindibles en etapas como la subsistencia, la evolución y el desarrollo de los seres vivos (Singh et al., 2016). Una acelerada y desmesurada tasa de crecimiento poblacional sin modelos de desarrollo ni planificación territorial ha traído como consecuencia grandes efectos negativos sobre el medio ambiente (Peña, 2019). Esta falta de planificación ha implicado la carencia de conexiones a los sistemas de alcantarillados municipales en asentamientos urbanos aledaños a los ríos llevando que sus aguas negras conduzcan directamente a las fuentes hídricas más cercanas (Quiroz et al., 2017).

Según la Organización de las Naciones Unidas “más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en los ríos o el mar sin ningún tipo de tratamiento, provocando así su contaminación”. Los vertimientos directos derivados de actividades industriales y/o domésticas son afectaciones a corto y largo plazo sobre los ríos con grandes impactos ambientales sobre su ecosistema generando alteraciones sobre sus características fisicoquímicas y microbiológicas que afectan directamente la salud pública ya que estos afluentes son empleados como agua potable, en usos agrícolas e industriales (Gómez et al., 2019).

Vertimientos de residuos sólidos y líquidos sin adecuados tratamientos y una falta de registros y supervisión sobre estos, con una nula implementación de un sistema de gestión ambiental por parte de los municipios con problemas para el desarrollo y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales llega a significar altos niveles de contaminación involucrando un mal suministro del servicio de agua potable para la comunidad.

Este deterioro en las fuentes hídricas ha sido uno de los ejes centrales en los últimos años para la población huilense y en especial su principal afluente, el río Las Ceibas. El incontrolable manejo de los vertimientos domésticos e industriales que llegan a esta cuenca ha dificultado observar con totalidad su esplendor, la cual por falta de un adecuado seguimiento y cumplimiento a las normativas ambientales cada día se deteriora más en calidad y cantidad. Su cuenca se localiza sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, con una longitud de 60,8 Km y superficie de

cuenca de 299,7 Km<sup>2</sup>, atravesando el municipio de Neiva. Según la Corporación Autónoma del Río Magdalena –CAM, el caudal promedio de este río en época de invierno es de 3.500 L/s y en verano de 2.400 L/s.

De acuerdo con el panorama anterior, esta investigación analiza el impacto sobre la calidad del agua del río causado por los vertimientos residuales domésticos e industriales del municipio, que derivan sobre su cauce y de esta manera identificar los cambios en sus propiedades al avanzar por este municipio. El objetivo de esta investigación es evaluar el deterioro de la calidad del agua del río Las Ceibas ocasionado por el vertimiento de aguas residuales en el municipio de Neiva, Huila.

### **1.1. Índices de contaminación y calidad del agua**

La Ley 99 de 1993 y el Decreto-Ley 216 de 2003 establecen que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se considera como el organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables en Colombia, quien junto a la participación ciudadana son los responsables de definir y formular las normas, políticas y regulaciones para el ordenamiento, la protección, manejo, conservación, uso y aprovechamiento adecuado de todos los recursos naturales incluyendo el agua, en donde temas como los límites máximos permisibles de vertimientos (Resolución 631 de 2015), el manejo de zonas marinas y costeras y la fijación de montos mínimos de las tasas ambientales son de fuerte relevancia (Ministerio de ambiente ,vivienda y desarrollo territorial, 2010).

El 14 de diciembre de 2009 se estableció frente al Consejo nacional ambiental y al Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico fase I (PNGIRH) de Colombia en donde se establecieron las estrategias, metas, los objetivos, indicadores y las líneas de acción estratégica para el adecuado manejo del recurso hídrico del país (Ministerio de ambiente ,vivienda y desarrollo territorial, 2010).

El agua es considerada potable cuando en cierta medida es "bebible" implicando que al momento de ser consumida por personas o animales no cause riesgo de contraer enfermedades por lo que ha sido tratada según estándares de calidad definidos internacionalmente (Romero, 2008). Los materiales resultantes de las actividades domésticas e industriales son residuos que en contacto con el agua la convierte en aguas residuales por su alta carga contaminante y por normas de salud pública está prohibido su vertimiento a aguas corrientes sin tratamientos previos (García et al., 2017). La carga contaminante de residuos domésticos presenta altas concentraciones de

materia orgánica y microorganismos por lo que su análisis debe estar dirigido a la determinación de todo tipo de contaminación bacteriológica y orgánica (Pinilla, 2003). El conglomerado de características químicas, físicas, organolépticas y microbiológicas son el estudio principal para evaluar la calidad del agua que debido a los diversos usos se ven alteradas provocando un impacto negativo a corto y largo plazo (Pinilla, 2003).

Los índices de calidad y de contaminación, son medidas ponderadas que permiten obtener una calificación del tipo de agua que se analizó. Los índices de contaminación-ICO evalúan una carga contaminante en específico y se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

**ICOMI:** Índice de contaminación por mineralización, en donde se evalúan variables de sólidos disueltos en términos de conductividad, la concentración de cationes de calcio y magnesio en términos de dureza y la concentración de aniones carbonatos y bicarbonatos en términos de alcalinidad.

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad}) \quad \text{Ecuación 1.}$$

En donde,

- $I_{conductividad}$  se determina:

$$\text{Log}_{10} I_{conductividad} = -3.26 + 1.34 \text{Log}_{10} \text{Conductividad} \left( \frac{\mu S}{cm} \right)$$

$$I_{conductividad} = 10^{\text{Log}(I_{conductividad})} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Para conductividades mayores a  $270 \frac{\mu S}{cm}$ , se tiene un índice de conductividad igual a 1.

- $I_{Dureza}$  se determina:

$$\text{Log}_{10} I_{Dureza} = -9.09 + 4.40 \text{Log}_{10} \text{Dureza} (gm^{-3})$$

$$I_{Dureza} = 10^{\text{Log}(I_{Dureza})} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Para concentraciones de dureza mayores a  $110 gm^{-3}$ , se tiene  $I_{Dureza}$  igual a 1.

Para concentraciones de dureza menores a  $30 gm^{-3}$ , se tiene  $I_{Dureza}$  igual a 0.

- $I_{Alcalinidad}$  se determina:

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005 * \text{Alcalinidad} (gm^{-3}) \quad \text{Ecuación 4.}$$

Para concentraciones de alcalinidad mayores a  $250 gm^{-3}$ , se tiene  $I_{Alcalinidad}$  igual a 1.

Para concentraciones de alcalinidad menores a  $50 gm^{-3}$ , se tiene  $I_{Alcalinidad}$  igual a 0.

**ICOMO:** Índice de contaminación por materia orgánica, en donde se evalúan tres variables fisicoquímicas, el porcentaje de saturación de oxígeno, la demanda química de oxígeno (a cinco días) y los Coliformes totales.

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes\ totales} + I_{\%Oxigeno}) \quad \text{Ecuación 5.}$$

En donde,

- $I_{DBO}$  se determina:

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \text{Log}_{10} DBO(gm^{-3}) \quad \text{Ecuación 6.}$$

Para concentraciones de DBO mayores a  $30 gm^{-3}$ , se tiene un índice de DBO igual a 1.

Para concentraciones de DBO menores a  $2 gm^{-3}$ , se tiene un índice de DBO igual a 0.

- $I_{Coliformes\ Totales}$  se determina:

$$I_{Coliformes\ Totales} = -1.44 + 0.56 \text{Log}_{10} Coliformes\ totales (NMP * 100cm^{-3}) \quad \text{Ecuación 7.}$$

Para concentraciones de Coliformes totales mayores a 20000 ( $NMP * 100cm^{-3}$ ), se tiene un índice de coliformes totales igual a 1.

Para concentraciones de Coliformes totales menores a 500 ( $NMP * 100cm^{-3}$ ), se tiene un índice de coliformes totales igual a 0.

- $I_{\%Oxigeno}$  se determina:

$$I_{\%Oxigeno} = 1 - 0.01 * \%Oxigeno \quad \text{Ecuación 8.}$$

Para porcentaje de oxígeno mayores a 100% se tiene un índice igual a 0.

**ICOSUS:** Índice de contaminación que se determina mediante la concentración de sólidos suspendidos en la fuente hídrica relacionado con compuestos inorgánicos.

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 * solidos\ suspendidos(gm^{-3}) \quad \text{Ecuación 9.}$$

Para concentraciones de solidos suspendidos mayores a  $340 gm^{-3}$ , se tiene un índice ICOSUS igual a 1.

Para concentraciones de sólidos suspendidos menores a  $10 \text{ gm}^{-3}$ , se tiene un índice ICOSUS igual a 0.

**ICOTRO:** Índice de contaminación trófica que se determina mediante la concentración del fósforo total definido mediante una categoría especial determinando el estado del agua (Ramirez et al., 2019):

- Oligotrófico : < 0,01 ppm P
- Mesotrófico : 0,01 - 0,02 ppm P
- Eutrófico : 0,02 - 1 ppm P
- Hipereutrófico : >1 ppm P

**ICA:** Índice de calidad del agua que por mediciones de un conjunto de variables fisicoquímicas y microbiológicas se logra clasificar la fuente hídrica según su calidad. Y junto con una relación de las curvas de función según Brown (1970), modificadas por Samboni et al. (2007) se determina el índice de calidad obteniendo un resultado entre 0 y 1, según su grado de calidad (Torres et al., 2009).

$$ICA_{njt} = \sum_{i=1}^n W_i I_{ikjt} \quad \text{Ecuación 10.}$$

$W_i$ , corresponde al peso relativo que se asigna a la variable  $i$

$I_{ikjt}$ , Es el valor que corresponde a la variable  $i$ , en el punto de monitoreo  $j$ , durante el trimestre  $k$  y el periodo de tiempo  $t$ .

$n$ , es el número de variables calculadas.

El estado de las fuentes hídricas ha venido siendo evaluado en los últimos años por medio de índices de calidad y de contaminación debido a las altas concentraciones de contaminantes en las fuentes de agua (IDEAM, 2014). Al calcular los valores correspondientes para los ICO e ICA se logra la clasificación según el tipo de agua como se muestra en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Caracterización de aguas según los índices de contaminación - ICO

ICO	Caracterización	Contaminación	Color establecido
0 – 0.2	Aguas puras	Ninguna	AZUL

> 0.2 – 0.4	Aguas con leve incidencia antrópica	Baja	VERDE
> 0.4 – 0.6	Aguas con notable actividad antrópica	Media	AMARILLO
> 0.6 – 0.8	Aguas con un importante grado de contaminación	Alta	NARANJA
> 0.8 - 1	Aguas altamente contaminadas	Muy alta	ROJO

Fuente: Valverde et al, (2014).

**Tabla 2.** Caracterización de aguas según valor del ICA (Escala de clasificación ICA-NSF)

Valor del ICA	Calidad del agua
91-100	Excelente
71-90	Buena
51-70	Media
26-50	Mala
0-25	Muy mala

Fuente: Quiroz et al, (2017).

Debido al auge del empleo de estos indicadores para el estudio de calidad de fuentes de agua se han realizado varios estudios explicando su implementación, como el caso de Torres et al.,2009 donde infieren que los índices de calidad son herramientas útiles a comparación con los índices aditivos, por lo que los primeros son más sensibles a las variaciones repentinas del agua y en la manera en que un parámetro se vuelve insatisfactorio cambia totalmente el resultado final.

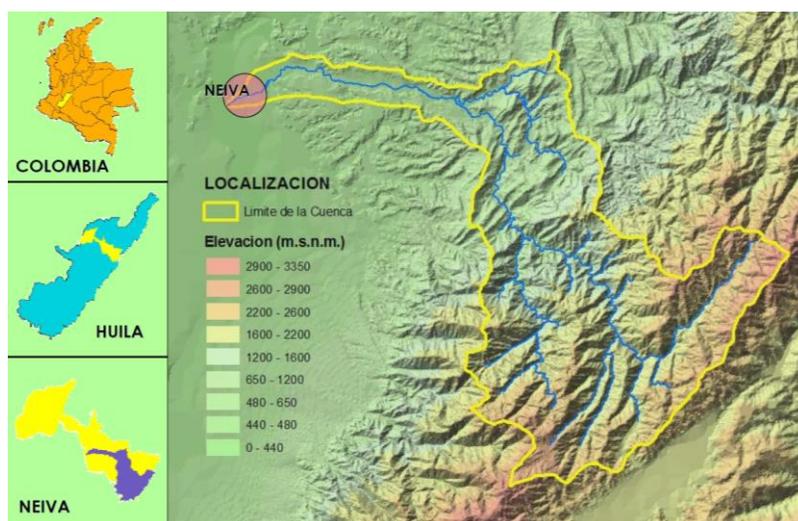
Diversos investigadores han evolucionado en su análisis de calidad complementando con parámetros biológicos y físico químicos para evaluar cuerpos de agua, como el caso de Cadavid et al. (2011) aplicando la metodología sugerida por el IDEAM para el estudio de las cuencas de la región Cornare.

## 2. Material y Métodos

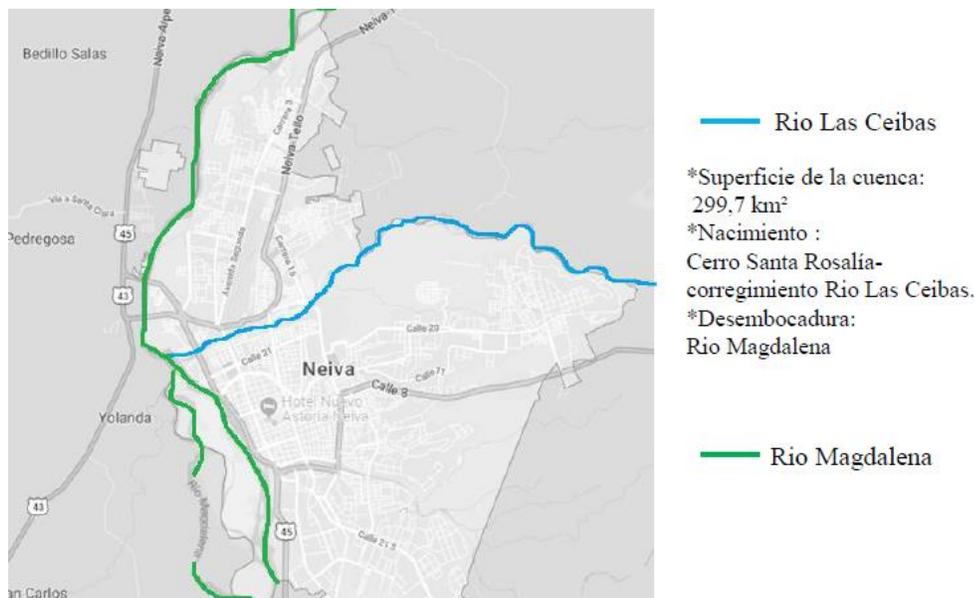
El estudio dio inicio con una recolección de datos teóricos e información bibliográfica, se realizó una identificación del campo de estudio y el reconocimiento de los puntos de vertimientos que fueron los puntos de muestreo, seguido de toma de datos, estudio de condiciones ambientales y finalmente análisis de resultados.

**Zona de estudio:** En la Figura 1 se observa la cuenca Hidrográfica del río Las Ceibas y su delimitación en el municipio, la cual se localiza en el costado oriental de la ciudad de Neiva, sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, delimitada por accidentes geográficos muy definidos, que van desde las altas montañas, que dividen al municipio con el departamento del Caquetá, hasta su desembocadura en las aguas del río Magdalena, en un área aproximada de 29.968,14 Ha, representando el 18,3 % del municipio de Neiva.

El cauce principal del río las Ceibas nace en el cerro Santa Rosalía alcanzando su altura máxima de 3.150 m.s.n.m. en los ecosistemas estratégicos de Santa Rosalía (costado nororiental de la cuenca) y La Siberia. La cota más baja está a una altura de 430 m.s.n.m. que coincide con la zona urbana de la ciudad de Neiva, tal como se observa en la Figura 2.



**Figura 1.** Localización general de la cuenca y modelo digital del terreno. Fuente: Secretaria de Salud de Neiva- Saneamiento Ambiental, (2019).



**Figura 2.** Mapa de Neiva Tomado de Google Maps enmarcando recorrido del rio las ceibas.  
 Fuente: Marinez,(2021).

Se estipularon cuatro puntos de muestreo evaluados en dos épocas distintas, época de invierno y época de verano:

PUNTO 1-El guayabo: Inicio del río las ceibas en el municipio de Neiva. Coordenadas: N 02°55'10.6" W 075°09'60.4"

PUNTO 2-El Tomo: Antes de punto de vertimiento de residuos domésticos principal del municipio de Neiva. Coordenadas: N 02°56'51.7" W 075°13'05.0"

PUNTO 3-Batallon: Después de punto de vertimiento de residuos domésticos principal del municipio de Neiva. Coordenadas: N 02°56'10.0" W 075°18'06.4"

PUNTO 4-Caracoli: Desembocadura del río las ceibas (punto de unión con el río magdalena). Coordenadas: N 02°56'14.12" W 075°18'1.18"

**Muestreo en campo:** Se realizó muestreo en campo siguiendo las indicaciones del instructivo TI0187 del Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), instructivo para la toma de muestras de aguas residuales, en donde se describen los requerimientos e instrucciones a seguir para la toma de muestras de aguas residuales domésticas e industriales para análisis en laboratorio. Cada muestra fue identificada y rotulada según el punto de muestreo, fecha y hora de recolección, procedencia y preservación a realizar.

**Equipos y material de muestreo en campo:** pHmetro, Conductivímetro, cono imhoff, Gps neveras de preservación de las muestras, frasco lavador, recipientes de plástico y vidrio esterilizado para la recolección.

Los parámetros analizados en campo y en laboratorio junto con su respectivo método y técnica de análisis se observa en la tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros de estudio y técnicas utilizadas para su cálculo

<b>Parámetro</b>	<b>Método de análisis</b>	<b>Técnica de análisis *</b>	<b>Lugar de análisis</b>
Temperatura	Potenciométrico	SM 2550 B	In situ
pH	Potenciométrico	SM 4500-H+B	In situ
Conductividad	Potenciométrico	SM 2510 B	In situ
Sólidos sedimentables	Gravimétrico	SM 2540 F	In situ
Oxígeno disuelto	Electrodo de membrana	ASTM D888 METODO C	In situ
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico	SM 2540 D	Laboratorio
Sólidos totales	Gravimétrico	SM 2540 D	Laboratorio
Demanda biológica de oxígeno	Electrodo de membrana	SM 5210B Y ASTM D888 METODO C	Laboratorio
Demanda química de oxígeno	Electrodo de membrana	SM 5220 D	Laboratorio
Coliformes totales	Microbiológico-filtración por membrana	SM 9223 B	Laboratorio
Nitratos	Espectrofotómetro	Salicilato de sodio. Rodier J.	Laboratorio
Fosforo total	Espectrofotómetro	SM22 4500 –P B,D	Laboratorio
Alcalinidad total	Titulométrico	SM 2320 B	Laboratorio
Dureza total	Titulométrico	SM 2340 C	Laboratorio
Turbiedad	Nefelometría	SM 2130 B	Laboratorio

\*Técnica de análisis referenciados en “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater”. Fuente: Marinez, (2021).

El análisis de los parámetros ex-situ se realizaron en el Laboratorio DIAGNOSTICAMOS S.A.S acreditado bajo la norma 17025 por el IDEAM.

### 3. Resultados

Mediante un estudio bibliográfico de las principales actividades comerciales e industriales que se realizan sobre el afluente, se referenciaron los puntos o lugares en donde se determinan los vertimientos residuales, mostrados en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Actividades antropogénicas próximos a la cuenca.

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>PUNTOS DE ACTIVIDAD</b>
AVICULTURA	Parte Media de la Cuenca, Santa Elena, el Vergel y los Cauchos
GANADERIA	Esta actividad se desarrolla desde la Vereda Venadito cerca de la ciudad de Neiva hasta la Vereda la plata límite con balsillas cubriendo la Parte Alta, Media y Baja de la cuenca.
PISCICULTURA	Concentrada en la zona plana de la cuenca Vereda el Centro.
PORCICULTURA	Ubicados principalmente en las veredas Santa Lucia, Platanillal el Centro.
CULTIVOS TRANSITORIOS (Frijol, Arveja y Arroz)	El frijol y la arveja se cultivan principalmente en la parte media alta y alta de la cuenca. Cultivos de arroz se concentran en la parte baja de la cuenca.
CULTIVOS DE CAFE	El café se siembra principalmente en las veredas palestina, Canoas, Primavera, San Miguel y San Bartolo.
OTRAS DESCARGAS DE ORIGEN NATURAL	Zona Alta, Media y Baja de la Cuenca.

Fuente: Marinez, (2021).

Se realizó un primer muestreo en época de verano y un segundo muestreo en época de invierno en los cuatro puntos referenciados anteriormente, obteniendo los resultados que se evidencian en la Tabla 5 y 6; se muestran los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos determinados durante los muestreos incluidos sus caudales, observándose un incremento en el mes de mayor

precipitación, época de invierno, permitiendo la explicación de fenómenos de dilución que ocurren y una disminución en la concentración de los parámetros fisicoquímicos evaluados.

**Tabla 5.** Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos de los cuatro puntos de muestreo en época de verano

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADO			
		PUNTO 1- EI guayabo	PUNTO 2-EI tomo	PUNTO 3- Batallon	PUNTO 4- Caracoli
Alcalinidad Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	78,0	79,0	90,5	89,4
Caudal	L/s	2,7514	1,6233	0,7450	0,4998
Conductividad (In-Situ)	μS/cm	148,8	160,96	186,7	179,47
Demanda biológica de oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
Demanda química de oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	51,51	71,31	65,65	69,69
Fósforo total	mg P/L	0,03	0,03	0,07	0,05
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> -N/L	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
NMP Coliformes totales	NMP/100 ml muestra	350	1600	2400	2400
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	7,79	7,99	8,11	7,72
pH (In-Situ)	Unidades de pH	8,39	9,09	9,3	8,62
Sólidos sedimentables	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	10,0	8,0	15,0	15,0
Sólidos totales	mg/L	113,0	117,0	124,0	131,0
Temperatura	°C	20,87	23,10	24,10	29,8
Turbiedad	NTU	2,14	2,85	5,02	7,73

Fuente: Marinez, (2021).

**Tabla 6.** Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos de los cuatro puntos de muestreo en época de invierno

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADO			
		PUNTO 1- El guayabo	PUNTO 2-El tomo	PUNTO 3- Batallon	PUNTO 4- Caracoli
Alcalinidad Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	64,5	58,2	82,2	87,4
Caudal	L/s	3,664	1,8626	0,8898	0,7336
Conductividad (In-Situ)	µS/cm	136,6	167	190	206
Demanda biológica de oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
Demanda química de oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	57,57	69,69	75,75	80,80
Fósforo total	mg P/L	0,06	0,04	0,05	0,05
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> -N/L	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
NMP Coliformes totales	NMP/100 ml muestra	1600	920	2400	5200
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	7,95	7,49	7,76	7,51
pH (In-Situ)	Unidades de pH	7,54	7,04	9,02	7,40
Sólidos sedimentables	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	15,0	15,0	17,0	14,0
Sólidos totales	mg/L	114,0	123,0	130,0	125,0
Temperatura	°C	21,3	23,14	23,5	26,02
Turbiedad	NTU	9,77	3,95	4,00	4,63

Fuente: Martinez, (2021).

En la Tabla 7 y 8, se muestra los valores ICOS de cada punto en específico, los cuales fueron calculados siguiendo las ecuaciones enumeradas de 1 a 9 y se efectuó su caracterización, en donde se clasifica el grado de contaminación estipulando visualmente un color por grado de contaminación.

**Tabla 7.** Caracterización de aguas según los ICO en los cuatro puntos de muestreo en época de verano

PUNTO	ICOMO		ICOMI		ICOSUS		ICOTRO
PUNTO 1- El guayabo	0,522	Contaminación Media	0,205	Contaminación Baja	0,01	Ninguna	Eutrófico
PUNTO 2- El Tomo	0,645	Contaminación Alta	0,253	Contaminación Baja	0,004	Ninguna	Eutrófico
PUNTO 3- Batallon	0,677	Contaminación Alta	0,297	Contaminación Baja	0,025	Ninguna	Eutrófico
PUNTO 4- Caracoli	0,679	Contaminación Alta	0,293	Contaminación Baja	0,025	Ninguna	Eutrófico

Fuente: Marinez, (2021).

**Tabla 8.** Caracterización de aguas según los ICO en los cuatro puntos de muestreo en época de invierno

PUNTO	ICOMO		ICOMI		ICOSUS		ICOTRO
PUNTO 1- El guayabo	0,645	Contaminación Alta	0,172	Ninguna	0,025	Ninguna	Eutrófico
PUNTO 2- El Tomo	0,600	Contaminación Alta	0,223	Contaminación Baja	0,025	Ninguna	Eutrófico
PUNTO 3- Batallon	0,677	Contaminación Alta	0,311	Contaminación Baja	0,031	Ninguna	Eutrófico
PUNTO 4- Caracoli	0,741	Contaminación Alta	0,360	Contaminación Baja	0,022	Ninguna	Eutrófico

Fuente: Marinez, (2021).

Se estableció la calidad del agua del río las Ceibas en los cuatro puntos de muestreo tomando como relación las curvas de función según Brown (1970), modificadas por Samboni et al. (2007), y empleando la ecuación número 10.

La Tabla 9, resume los valores ICA obtenidos.

**Tabla 9.** Resultados del ICA en los puntos de tomas de muestras

PUNTO	VERANO		INVIERNO	
	ICA	CALIDAD	ICA	CALIDAD
PUNTO 1-El guayabo	53,91	MEDIA	54,49	MEDIA
PUNTO 2-El Tomo	49,77	MALA	55,35	MEDIA
PUNTO 3-Batallon	49,35	MALA	49,85	MALA
PUNTO 4-Caracoli	57,13	MEDIA	55,99	MEDIA

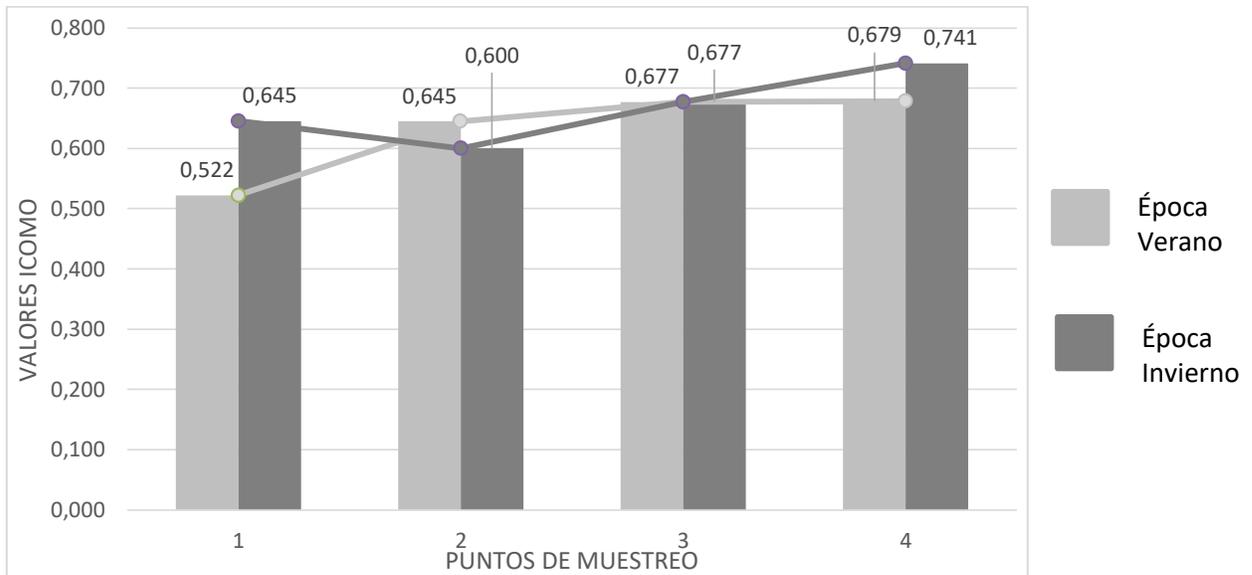
Fuente: Marínez, (2021).

#### 4. Discusión

ICOMO: Como se observa en la Figura 3, el promedio del índice ICOMO se encuentra entre 0,522 y 0,741 durante el transcurso del afluente hídrico indicando una alta contaminación por materia orgánica en los cuatro puntos evaluados. Se evidencian las más altas concentraciones en el punto de muestreo número 4, en donde se da por finalizado el cauce del río en el municipio traspasando por toda la zona rural y urbana e inicia su unión con el río Magdalena. En los puntos dos y tres de muestreo se observan valores de concentraciones homogéneos sin cambios en su asimetría. A excepción del punto número 1 de muestreo, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los índices de contaminación ICOMO evaluados en época de verano (precipitación de 70 mm) versus época de invierno (precipitación de 180 mm) confirmando la inexistente relación entre precipitación y concentración orgánica.

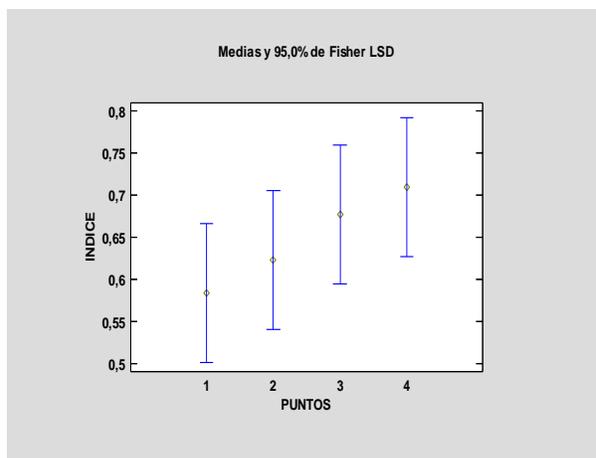
Los altos índices de contaminación orgánica se reflejan con las altas concentraciones de coliformes totales medidas (Tabla 5 y 6), alcanzando valores de 5200 NMP/100 ml en el punto número 4, siendo un sector doméstico. Valores altos en los puntos iniciales del río puede ser a

causa de los vertimientos que conllevan heces de animales como ganado y en los puntos finales se deben a los vertimientos directos de la población aledaña el cauce.

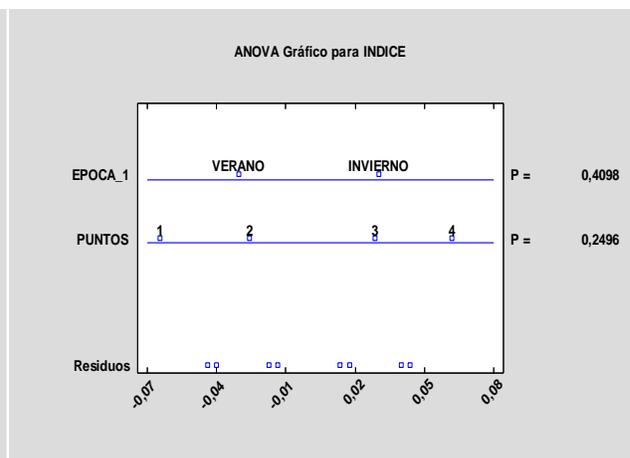


**Figura 3.** Valores de ICOMO. Fuente: Marinez, (2021).

Se realizó un análisis de varianza de varios factores para el índice ICOMO evaluando el efecto estadísticamente significativo de los factores influyentes (clima y punto de muestreo). Se escogió la suma de cuadrados Tipo III en donde la contribución de cada factor se midió eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores, como se observa en la Figura 5. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el índice ICOMO con un 95,0% de nivel de confianza.



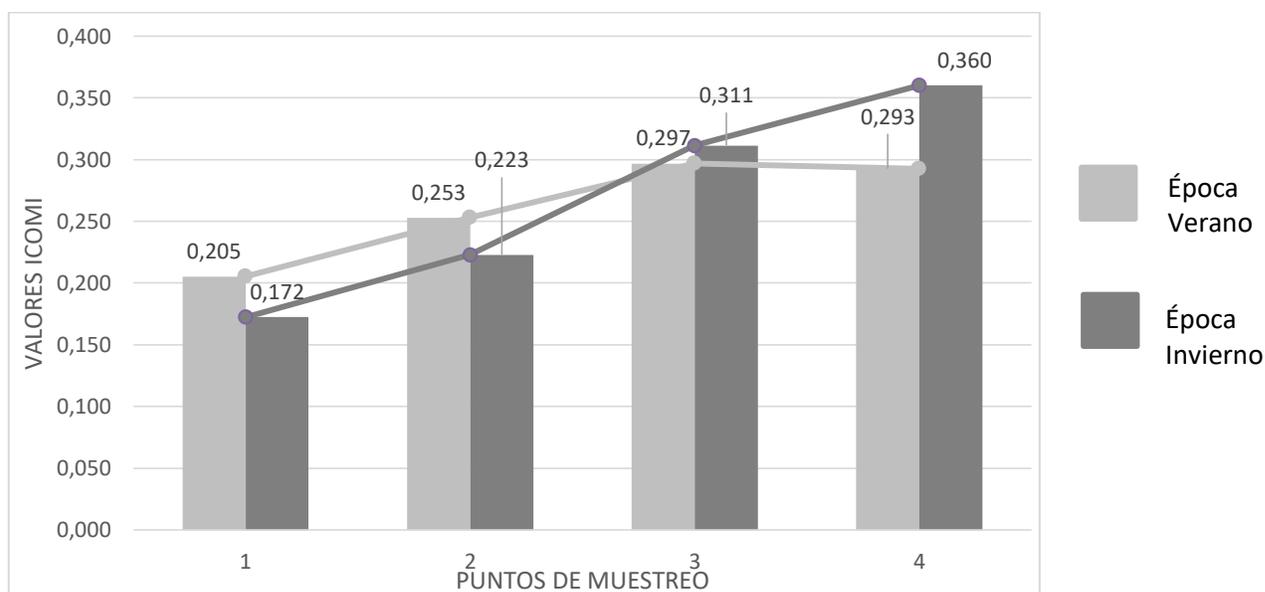
**Figura 4.** Gráfico de medias valores ICOMO. Fuente: Marinez, (2021).



**Figura 5.** Gráfico Anova valores ICOMO. Fuente: Marinez, (2021).

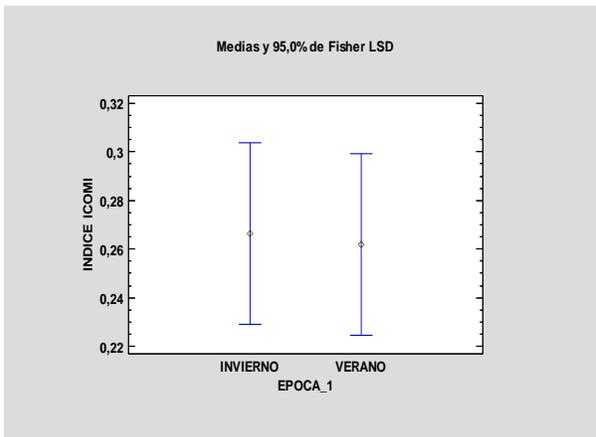
La contaminación procedente de vertimientos de aguas residuales de origen domestico presentan altas cargas contaminantes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal convirtiéndolas en un riesgo para la salud humana, en donde la presencia de estos debe alertar los mecanismos de control de calidad (Arcos et al., 2005).

ICOMI: En los puntos evaluados se evidencia contaminación por mineralización baja, siendo el punto de muestreo número 1 en donde se hallan las concentraciones más bajas con una contaminación nula. Y el punto máximo se observa en el punto de muestreo 4 durante época de invierno con un índice de 0.360, que aún sigue indicando contaminación baja. Como se observa en la Figura 6, sobre los valores del índice Icomi, con el transcurrir el afluente por el municipio se incrementa la concentración de minerales, esto se logra explicar debido a que en los últimos puntos son los lugares de zona industrial a comparación de los primeros puntos cuyas principales actividades son de cultivo.

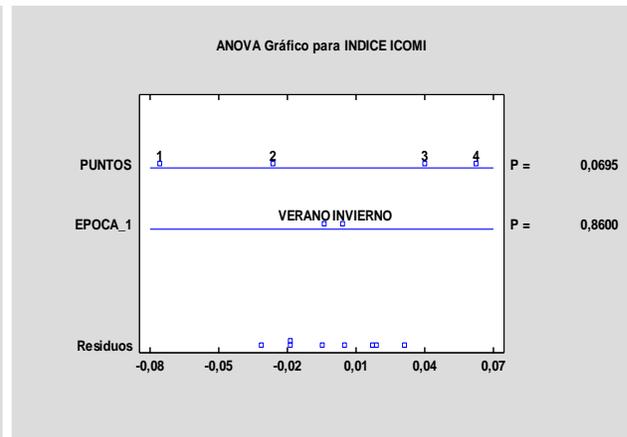


**Figura 6.** Valores de ICOMI. Fuente: Marinez, (2021).

Mediante un análisis de varianza de dos factores para el índice ICOMI se evaluó el efecto estadísticamente significativo. Los valores-P evidenciados en la Figura 8 prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el índice Icomi con un 95,0% de nivel de confianza.

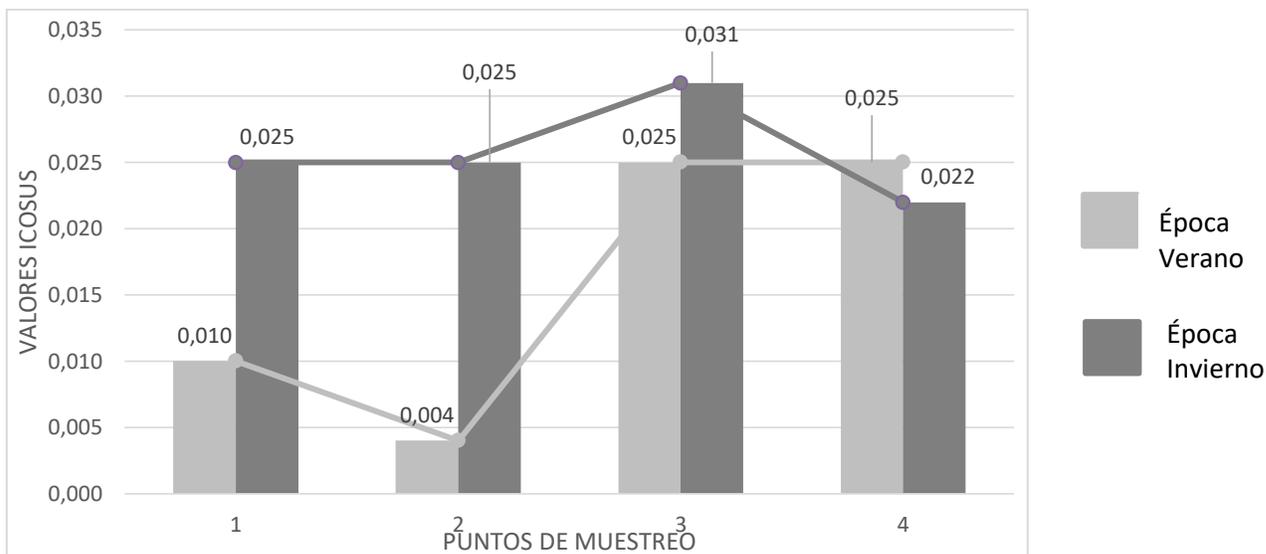


**Figura 7.** Gráfico de medias valores ICOMI.  
Fuente: Marinez, (2021).



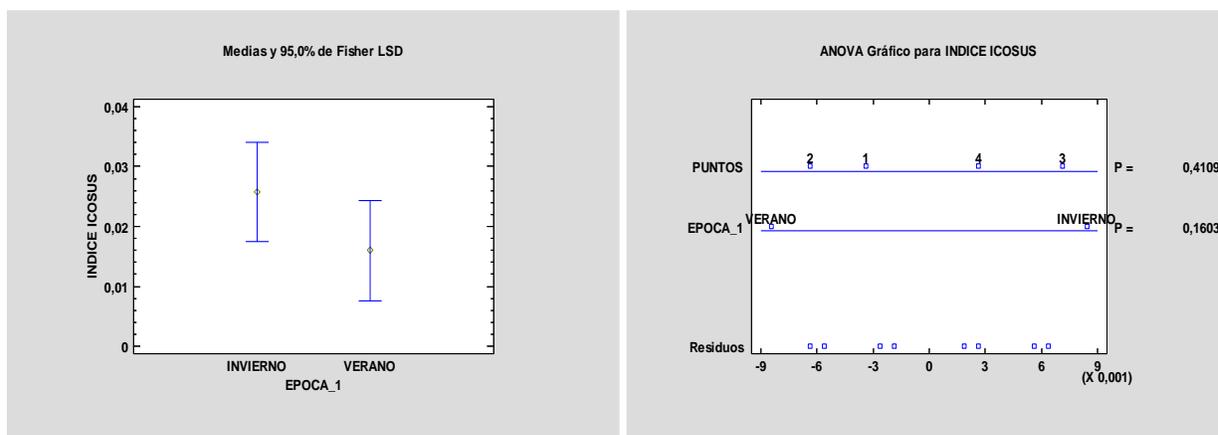
**Figura 8.** Gráfico Anova valores ICOMI.  
Fuente: Marinez, (2021).

ICOSUS: El nivel de sólidos suspendidos en el río es muy bajo implicando una nula contaminación y un índice Icosus nulo. En los puntos 1 y 2 se presentan grandes diferencias entre los datos tomados en época de verano y época de invierno (lluvia), implicando un aumento de sólidos cuando el caudal se eleva, siendo más corrientosa y provocando un mayor arrastre de partículas sólidas. El comportamiento del índice Icosus se encuentra asociado con el arrastre y la resuspensión de sólidos causado por las altas velocidades del flujo que son propias de ríos o quebradas caudalosas. La concentración de sólidos suspendidos en los puntos evaluados del río se encuentra muy por debajo del promedio establecido en varios ríos del mundo 110 mg/L. En la Figura 9 se observan los valores obtenidos de índice Icosus en los puntos evaluados. Cuando se obtienen niveles altos de sólidos suspendidos, el nivel de turbiedad también es alto relacionándose de manera directa y su causa radica en procesos erosivos y extractivos en la fuente hídrica dificultando la penetración de luz y el impedimento de fotosíntesis.



**Figura 9.** Valores de ICOSUS. Fuente: Marínez, (2021).

Con un análisis de varianza de los índices Icosus obtenidos, se evalúan los valores-P evidenciados en la Figura 11. Ningún valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el índice con un 95,0% de nivel de confianza.



**Figura 10.** Gráfico de medias valores ICOSUS. **Figura 11.** Gráfico Anova valores ICOSUS. Fuente: Marínez, (2021).

ICOTRO: Los niveles de concentración de fósforo total en el cauce del río es índice que este sufre procesos de eutrofización en los cuatro puntos evaluados. El comportamiento de esta variable se encuentra entre 0.03 y 0.07 ppm. Las concentraciones de fósforo total se relacionan con la utilización de fertilizantes a base de fosforo o jabones a base de fosforo, que se encuentran en los vertimientos residuales de los cultivos aledaños al río, al arrastre de estos fertilizantes en los lavados del suelo y a los vertimientos domésticos en la zona domiciliaria. Aunque la concentración de fosforo en estudios analizados demuestra que no es relevante en cursos altamente caudalosos

como el río Magdalena y Sinú al no evidenciarse proliferación de microalgas o macrófitas; el fenómeno de eutrofización impacta en las variables ecológicas en las fuentes hídricas más reducidas, ya que al ser alimentadas por estos grandes ríos, sus aguas o los sistemas cenagosos con crecimiento vegetal se ven afectados involucrando las actividades de la comunidad como el comercio pesquero (Ramírez et al., 2019).

ICA: Como se logra evidenciar en la Tabla 9 no existe una disminución constante del índice de calidad a medida que el cauce del río recorre el municipio de Neiva, Huila. Se evidencia un bajo índice de calidad en los puntos 2 y 3 de muestreo, puntos de zona domiciliaria con una calidad de agua mala, observando el deterioro que sufre la calidad del agua debido a los vertimientos residuales. En el punto 1, inicio del río en el municipio, el agua es de calidad media, este índice se debe a los cambios bruscos de pH y al alto número de coliformes totales. En ninguno de los datos analizados se determinó un índice de calidad bueno siendo el punto 3, centro del municipio el sector más crítico y en donde la población aledaña emplea el agua directamente del río para actividades cotidianas (baño, cocina) sin ningún tipo de tratamiento previo, y esto es debido a una mala cobertura del sistema de alcantarillado y un incremento poblacional sin cultura ambientalista provocando el deterioro paulatino de la calidad de las fuentes hídricas.

## **5. Conclusiones**

La evaluación de los índices de contaminación junto con el índice de calidad permitió determinar específicamente las propiedades fisicoquímicas o microbiológicas que se ven alteradas cuando un factor externo, en este caso los vertimientos residuales, ocasionan cambios en las condiciones iniciales del río Las Ceibas.

Al reconocer los índices que presentan contaminación alta, índice ICOMO, se visualiza y brinda una idea de cómo deben ser tratados los vertimientos residuales, domésticos e industriales para disminuir la carga contaminante que llega al río Las Ceibas.

La contaminación orgánica presente la fuente hídrica, en concentración de coliformes totales es el principal factor de deterioro de la calidad del río Las Ceibas y esto es debido a los vertimientos directos de las aguas sucias en las zonas altas del cauce y en las zonas bajas, por los desechos de los sectores de crianza (ganadera, piscícola, avícola) y sector doméstico, respectivamente.

Es sumamente necesario evaluar los tratamientos que se deben realizar a los vertimientos residuales antes de ser depositados, ya que su contaminación afecta las propiedades

fisicoquímicas y microbiológicas naturales del agua implicando en un futuro no muy lejano un deterioro en su cantidad y calidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arcos, M., Avila, A., Estupiñan, S & Gomez, A. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, 1-11.
- Cadavic , J., Echeverri, J., & Gomez, A. 2011. Modelación índices de calidad de agua (ICA) en las cuencas de la región Cornare. *Revista Gestipon y Ambiente*, 13 (2) 7-24.
- Garcia, & al, e. 2007. *Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por Pseudomonas sp y su efecto sobre el ciclo celular de Allium cepa*. *Revista Medica Vallejana*. Vol. 4 Núm. 1. DOI: 10.18050/revistamedicavallejana.v4i1.2218
- Gomez Marin, A. M., Naranjo Fernandez, D., Martinez, A. A., & Gallego Suarez, D. 2019. Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y el Salado (Girardota-Antioquia, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 60 (1) , 3735-3749.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales-IDEAM. 2014. *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 2010. Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico. ISBN: 978-958-8491-35-6. Bogotá.
- Moran, F. 2014. *Evaluación ambiental de la calidad del agua del río Santa Rosa y lineamientos para un plan ambiental*. Facultad de ciencias naturales, Escuelas de ciencias biología y ambiental, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Peña, H. 2019. El ordenamiento territorial y su construcción social en Colombia : ¿ un instrumento para el desarrollo sustentable? *Cuadernos de Geografía : Revista Colombiana de Geografía*, 97-109.
- Pinilla. 2003. Indicadores de contaminación fecal en aguas. En: Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. *RIPDA-CYTED CYRA-UAEM*, Capr 20 pp 30-239.
- Quiroz Fernandez, L. S., Izquierdo Kulich, E., & Menendez Gutierrez, C. 2017. Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador . *Scielo*, 73-83.
- Ramirez, A., Restrepo, R., & Niña, G. 2019. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *CT&-F. Ciencia, tecnología y futuro.*, 1(3) 135-153.

- Romero, M. 2008. *Tratamientos utilizados en potabilización de agua*. Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Secretaria de Salud de Neiva- Saneamiento Ambiental. 2019. *Mapa de riesgo de la calidad de agua para el consumo humano de las fuentes abastecedoras del acueducto de neiva "Rio Las Ceibas"*. Neiva-Huila.
- Segura, L. 2007. *Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia*. Facultad de pregrado programa en ciencias políticas y administrativas, escuela superior de administración pública esap, Bogota D.C
- Singh , S., Gupta, K., Chaurasia, G., Singh, S., & Tandon, P. 2016. Water purification : A brief review on tools and techniques used in analysis monitoring and assessment of water quality. *Green Chemistry & Technology Letters*, Vol 2 , No 2 pp 95-102.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 84-86.