

DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.4004>



Evaluación de la calidad del agua de la zona media del río Cravo Sur*

Susan Nailen Torres-Pineda^a ■ Maribel Patacón-Pedraza^b ■ Germán Ricardo Agudelo-Ariza^c

Resumen: el río Cravo Sur será la fuente de abastecimiento de la planta de tratamiento de agua potable definitiva de Yopal (Casanare, Colombia), cuya población, en 2017, era de 134 066 habitantes, de acuerdo con el Dane. Con ello en mente, este trabajo de investigación tiene el propósito de caracterizar la calidad de agua de la zona media de este río, por medio de técnicas analíticas fisicoquímicas. Para ello, se caracterizó el índice de calidad del agua (ICA) en esta zona del río, en el periodo de abril de 2017 hasta abril de 2018. Se tomaron 22 muestras, cada una de 2000 ml, para evaluar los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, conductividad, oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno. Los análisis se ejecutaron en las instalaciones del laboratorio de control de calidad de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal (EAAAY). A partir del ICA, establecido por el Ideam, se valoraron los datos obtenidos en épocas de invierno y verano, a partir de lo cual se clasificó el agua en clasificación regular y aceptable, respectivamente. Los índices ICA promedio fueron 0,62 y 0,86 para los periodos de verano e invierno, lo que revela que el agua puede ser empleada para suministro de la planta de tratamiento y que demandará mayor tratamiento durante el invierno.

Palabras clave: caracterización del agua; indicadores de calidad del agua; parámetros fisicoquímicos; río Cravo Sur

Recibido: 27 de abril de 2019

Aceptado: 01 de mayo de 2020

Disponible en línea: 14 de agosto de 2020

Cómo citar: Torres-Pineda S. N., Patacón-Pedraza, M., y Agudelo-Ariza, G. R. (2020). Evaluación de la calidad del agua de la zona media del río Cravo Sur. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 15(2), 117-127. <https://doi.org/10.18359/rfcb.4004>

* Artículo de investigación científica y tecnológica.

a Fundación Universitaria de San Gil Unisangil, Yopal, Colombia. Correo electrónico: susan-torresp@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7467-4521>

b Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: maribelpataconpedraza@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4614-1696>

c Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: gragudelo@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6292-571X>

Water Quality Assessment in the Middle Area of Cravo Sur River

Abstract: The Cravo Sur River will be the source of supply for the definitive drinking-water treatment plant in Yopal (Casanare, Colombia), whose population in 2017 was 134,066, according to DANE's data. In this line of thought, the purpose of this research is to characterize the water quality of the River's middle area, by means of physicochemical analytical techniques. The water quality index (WQI) was characterized in this river area from April 2017 to April 2018 for such purpose. 22 samples of 2000 ml each were taken to evaluate physicochemical parameters: pH, temperature, total suspended solids, conductivity, dissolved oxygen, and chemical oxygen demand. The analyzes were performed at the quality control laboratory facilities of the Yopal Aqueduct, Sewerage and Sanitation Company (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal –EAAAY). The data obtained in winter and summer seasons were assessed based on the WQI established by the IDEAM; such data were used to categorize water into regular and acceptable classifications, accordingly. The WQI average rates for the summer and winter seasons were 0.62 and 0.86; this shows that water can be used to supply treatment plants and will require increased treatment during the winter season.

Keywords: Cravo Sur river; physicochemical parameters; water characterization; water quality indicators

Avaliação da qualidade d'água da região central do rio Cravo Sur

Resumo: O rio Cravo Sur será a fonte de abastecimento da estação de tratamento de água potável definitiva de Yopal (Casanare, Colômbia), cuja população, em 2017, era de 134.066 habitantes, de acordo com o Dane. Com isso em mente, este trabalho de pesquisa tem o propósito de caracterizar a qualidade da água da zona central desse rio, por meio de técnicas analíticas físico-químicas. Para isso, caracterizou-se o índice de qualidade da água (ICA) nessa zona do rio, no período de abril de 2017 até abril de 2018. Foram tomadas 22 amostras, cada uma de 2000 ml, para avaliar os parâmetros físico-químicos pH, temperatura, sólidos totais em suspensão, condutividade, oxigênio dissolvido e demanda química de oxigênio. As análises executaram-se nas instalações do laboratório de controle de qualidade da Empresa de Acueducto, Alcantarillado e Aseo de Yopal (EAAAY). A partir do ICA, estabelecido pelo Ideam, foram avaliados os dados obtidos em épocas de inverno e verão, a partir do qual se classificou a água em classificação regular e aceitável, respectivamente. Os índices ICA em média foram de 0,62 e 0,86 para os períodos de verão e inverno, o que revela que a água pode ser empregada para fornecimento da estação de tratamento e que será necessário maior tratamento durante o inverno.

Palavras-chave: caracterização da água; indicadores de qualidade da água; parâmetros físico-químicos; rio Cravo Sur

Introducción

En Colombia, a pesar de contar con instrumentos de planeación del recurso hídrico, se presenta un desconocimiento generalizado sobre la calidad del agua y la vulnerabilidad de las principales fuentes de abastecimiento de este recurso, de acuerdo con la variabilidad del clima (Cruz-Cárdenas, 2016).

Los prestadores del servicio de acueducto en Colombia deben considerar los parámetros fisicoquímicos, característicos de las fuentes abastecedoras y el comportamiento de los caudales, para la optimización de los acueductos municipales (Bernate y Romero, 2017). De las 1000 fuentes reportadas en el Sistema Único de Información de Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 824 corresponden a fuentes hídricas superficiales y 176, a pozos. Con respecto al uso del agua, se tienen 1000 fuentes hídricas destinadas al abastecimiento para consumo humano; sin embargo, tienen también otros usos, como vertimiento en 206 fuentes y uso recreativo, en 86 fuentes (Bernate y Romero, 2017).

El agua hace parte esencial de los ecosistemas, los cuales mantienen la biodiversidad y generan diversos recursos básicos para la supervivencia humana, vegetal y animal. Adicionalmente, es uno de los recursos ambientales renovables (Ramírez, Osorio y Parra, 2007). Teniendo esto en cuenta, el monitoreo de las fuentes de agua de los sistemas de abastecimiento es de gran relevancia, para garantizar la idoneidad en parámetros como calidad y seguridad para la salud del usuario final (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006).

Determinar analíticamente los parámetros fisicoquímicos del agua aporta información puntual sobre las condiciones de una fuente. Por tal motivo, se realiza la evaluación mediante el índice de calidad del agua (ICA), un valor numérico que califica la calidad del agua de una corriente superficial en una de cinco categorías, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables fisicoquímicas, registradas en una estación de monitoreo (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2011).

A partir del ICA puede realizarse un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas. La metodología del ICA-Ideam simplifica la interpretación, identificación de tendencias y toma de decisiones para un cuerpo de agua (Caho y López, 2017).

La cuenca del río Cravo Sur se extiende sobre los departamentos de Boyacá (35,47 % de su extensión) y Casanare (64,53 %). En este último, los municipios de Yopal y Orocué constituyen el 49,2 % de su extensión total (Corporinoquia, UAESPNN y Corpoboyacá, 2016). El río Cravo Sur es de vital importancia para el municipio de Yopal, debido a que será la fuente de abastecimiento de la planta de tratamiento de agua potable definitiva. En esto radica la importancia de conocer la calidad del agua en las temporadas de invierno y verano.

Así pues, en esta investigación se presenta la metodología y los resultados de análisis fisicoquímicos, realizados en la zona media del río Cravo Sur, con los que se evaluó, mediante el ICA, la calidad del agua en las épocas de invierno y verano en los años 2017-2018.

Con el registro anual de los resultados de la calidad del agua de esta zona del río, se proyecta construir el histórico de la información de las fuentes importantes de abastecimiento del municipio y llevar el control en los primeros años de operación de la planta de potabilización.

Materiales y métodos

El trabajo inició con el muestreo y los análisis *in situ* del agua en el punto establecido del río Cravo Sur (Tabla 1). Enseguida, las muestras fueron llevadas al laboratorio de aguas de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal (EAAAY), para realizar en conjunto los análisis de los parámetros de Conductividad Eléctrica (CE), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), pH y oxígeno disuelto (OD); mediante la metodología establecida en el laboratorio de aguas de la EAAAY. Luego, con los resultados obtenidos en cada análisis, se evaluó la calidad del agua, aplicando el índice ICA establecido por el Ideam (2011).

Tabla 1. Zona de muestreo del río Cravo Sur

Zona	Latitud (grados)	Zona (grados)	Latitud (msnm)
Media	5,3994	-72,4299	421

Fuente: elaboración propia.

Área de estudio

La cuenca del río Cravo Sur se localiza entre los 4°41'13" y los 5°56'37" de latitud norte y entre los 71°34'09" y 72°46'28" de longitud, al oeste de Greenwich. El río se desarrolla, inicialmente, con una dirección N 55NW°, a lo largo de Boyacá y luego hace un quiebre de N35NW°, en inmediaciones de Yopal, para tomar, finalmente, hasta su desembocadura en el río Meta, un rumbo N80° E, en inmediaciones del Municipio de Orocué (Corporinoquia *et al.*, 2016).

La cuenca tiene un área de 565 113 hectáreas; es de forma oval y alberga una corriente principal de 205 km de longitud, que transcurre sobre un amplio gradiente altitudinal, con la mayor cota a los 3800 msnm y la menor a los 150 msnm (Corporinoquia *et al.*, 2016).

Parámetros fisicoquímicos

Se tomaron muestras de agua del río en recipientes plásticos de 2000 ml, para analizar seis parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura (°C), sólidos suspendidos totales (SST), conductividad, oxígeno disuelto (OD) y demanda química de oxígeno (DQO), las cuales fueron analizadas en el laboratorio de aguas de la EAAAY, siguiendo la metodología aceptada por esta institución, descrita en *Standard methods for the examination of water and wastewater* (2012); publicado por las asociaciones American Public Health Association (Apha), Water Environment Federation (WEF) y American Water Works Association (AWWA), de acuerdo con los manuales de procedimientos de la Hach, para análisis de agua. Se determinaron *in situ* los parámetros de pH, temperatura y oxígeno disuelto.

La Tabla 2 presenta la información referente a la metodología utilizada para analizar las muestras en laboratorio, con base en *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Bridgewater y Rice, 2012).

Tabla 2. Técnicas de análisis químico utilizadas con las muestras de agua

Parámetro	Técnica de análisis / método de referencia
Sólidos suspendidos totales	Espectrofotométrico / Method 8006 de Hach
pH	Electrométrico- Potenciométrico / SM 4500H+B
Conductividad	Electrométrico - Potenciométrico / SM 2510 B
Oxígeno disuelto	Luminiscente / SM 4500-O H
Demanda química de oxígeno	Colorimétrico / SM 5220 D

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de los índices de calidad

Con los resultados obtenidos en el laboratorio, se determinó el índice de calidad de agua (ICA, establecido por el Ideam en 2011). Este índice tiene en cuenta los valores de OD, pH, DQO, conductividad y SDT. El cálculo de este índice se llevó a cabo con la Fórmula 1.

Con la ecuación se analizaron los datos para las épocas de invierno y verano, realizando un promedio de los valores obtenidos después de los análisis de laboratorio, los cuales fueron aplicados a cada fórmula. Luego, con los resultados de cada ecuación, se aplicó la fórmula principal, con lo cual se determinó el valor del ICA para la fuente. Adicionalmente, el valor del ICA también se calculó por muestra, con el propósito de obtener los ICA mínimo y promedio.

Donde:

ICA_{njt} = índice de calidad del agua de determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t , evaluado con base en n variables.

$$ICA_{njt} = \sum_{i=1}^n W_i \times I_{ikjt}$$

W_i = ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i .

I_{ikjt} = valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j , registrado durante la medición realizada en el trimestre k , del periodo de tiempo t .

n = número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5 o 6, dependiendo de la medición del ICA seleccionada.

Fórmula 1. Cálculo del ICA ponderado; método Ideam (2011).

Igualmente, dentro de la formula principal para determinar el valor del ICA, se emplea el valor ponderado de cada variable, el cual es determinado por el Ideam. Se aplican las ponderaciones para cinco variables, de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 3.

Tabla 3. Variables y ponderaciones para el caso de cinco variables

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto	Porcentaje de saturación (%)	0,2
Sólidos suspendidos totales	mg/l	0,2
Demanda química de oxígeno	mg/l	0,2
Conductividad eléctrica	mg/l	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: Ideam (2011).

Para determinar el valor de cada variable se aplican las ecuaciones incluidas en la Tabla 4. Todos los resultados fueron obtenidos mediante una hoja de cálculo de Excel, en la cual se tabuló cada una de las variables, especificando su

ecuación y la ponderación, para finalmente usar la formula principal, a fin de obtener el valor del ICA.

En la Tabla 5, se identifica la calidad del agua, según el valor arrojado después de la aplicación de la ecuación principal (Ecuación 1). El valor del ICA tiene un rango de 0 a 1,0, que corresponden a la menor y la mayor calificación de calidad del agua, respectivamente.

Tabla 5. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00-0,25	Muy mala	Rojo
0,26-0,50	Mala	Naranja
0,51-0,70	Regular	Amarillo
0,71-0,90	Aceptable	Verde
0,91-1,00	Buena	Azul

Fuente: Ideam (2011).

En la Tabla 6 se presentan los resultados de los análisis de las muestras, correspondientes a la época de invierno.

Tabla 4. Método para determinar el valor de cada variable del ICA

Parámetro	Ecuación	Observaciones
Oxígeno disuelto	$PS_{OD} = \frac{O_x \times 100}{C_p}$	<p>Donde:</p> <p>PS_{OD}: Porcentaje de saturación</p> <p>O_x: Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l)</p> <p>C_p: Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l)</p>
Sólidos suspendidos totales	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \times SST)$	<p>Si $SST \leq 4,5$, entonces $I_{SST} = 1$</p> <p>Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$</p>
Demanda química de oxígeno	I_{DQO}	<p>si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$</p> <p>si $20 < DQO \leq 25$, entonces $I_{DQO} = 0,71$</p> <p>si $25 < DQO \leq 40$, entonces $I_{DQO} = 0,51$</p> <p>si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$</p> <p>si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$</p>
Conductividad eléctrica	I_{CE}	$I_{CE} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \text{ Log}_{10} CE)}$
Potencial de hidrógeno	I_{pH}	<p>Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0,1$</p> <p>Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0,02628419 \times e^{(pH \times 0,520025)}$</p> <p>Si $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$</p> <p>Si $8 < pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 \times e^{((pH - 8) - 0,5187742)}$</p> <p>Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0,1$</p>

Fuente: elaboración propia.

Resultados y discusión

Se analizaron 22 muestras de agua cruda, provenientes de la zona media del río Cravo Sur, desde el mes de abril de 2017 hasta el mes de abril de 2018. Se evaluaron los cinco parámetros fisicoquímicos requeridos por la ecuación para cada una de las muestras. Los resultados se discriminaron por periodo de invierno o verano (Tablas 6 y 7, respectivamente).

Temporada de invierno

Para la temporada de invierno (desde mayo 2017 hasta la primera mitad de noviembre 2017, según el Ideam), se obtuvieron los resultados registrados en la Tabla 6. Entre otros, se destacan el rango de datos de los sólidos suspendidos totales (SST), que varía entre 60 y 5500 mg/l, y el rango de conductividad, que varía entre 78,0 y 7276,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$; mientras el valor más alto de demanda química de oxígeno (DQO) fue de 94 mg O_2/l .

Tabla 6. Resultados de análisis de laboratorio para las muestras en época de invierno

Muestra	Fecha (día/mes/año)	pH (unidades)	OD (mg O ₂ /l)	T (°C)	SST (mg/l)	DQO (mg O ₂ /l)	CE (µS/cm)
1	11/05/2017	7,68	9,05	23,0	1234	94	127,6
2	26/05/2017	8,05	7,99	24,2	1440	89	276,0
3	08/06/2017	7,87	8,72	25,7	296	8	124,5
4	30/06/2017	7,93	8,70	23,2	441	12	119,6
5	13/07/2017	8,03	9,22	21,2	5500	15	128,9
6	27/07/2017	8,01	9,51	20,1	5000	29	114,5
7	01/09/2017	7,96	8,75	21,8	60	12	120,4
8	14/09/2017	8,42	8,34	21,5	157	6	112,2
9	21/09/2017	8,66	8,19	21,9	119	8	93,6
10	05/10/2017	8,51	8,39	21,0	1499	91	78,7
11	02/11/2017	7,77	8,46	22,6	335	11	100,5
12	15/11/2017	7,02	8,46	23,0	169	7	98

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en el Laboratorio de Aguas EAAAY (2018).

Tabla 7. Resultados de análisis de laboratorio para las muestras en época de verano

Muestra	Fecha (día/mes/año)	pH (unidades)	OD (mg O ₂ /l)	T (°C)	SST (mg/l)	DQO (mg O ₂ /l)	CE (µS/cm)
1	20/04/2017	7,29	8,75	25,7	26	32	152,2
2	23/11/2017	7,75	8,36	24,1	53	9	120,5
3	29/11/2017	7,88	8,42	23,1	41	10	127,6
4	12/12/2017	7,60	8,48	21,0	205	9	113,5
5	19/12/2017	8,06	8,47	22,6	14	11	155,4
6	18/01/2018	7,13	8,60	23,6	35	7	152
7	16/02/2018	7,31	8,51	24,7	3	10	205
8	02/03/2018	7,21	8,44	23,9	4	9	211
9	26/03/2018	7,56	8,00	29,6	2	15	203
10	30/04/2018	6,98	7,46	22,4	72	7	130,5

Fuente: elaboración propia, con dato obtenidos en el Laboratorio de Aguas EAAAY (2018).

Con los resultados de laboratorio, aplicando el procedimiento para calcular el ICA, basado en la metodología del Ideam con cinco variables, se obtuvieron los valores de ICA por muestra (Tabla 8).

Para cada muestra, se relaciona una calificación de calidad. Se resalta que en la mitad de los casos se tuvo calidad aceptable y en el resto se obtuvieron calidades regular y mala.

Tabla 8. Valor ICA por muestra para el periodo de invierno

Fecha	ICA (por muestra)	Calificación ICA
11/05/2017	0,53	Regular
26/05/2017	0,35	Mala
08/06/2017	0,72	Aceptable
30/06/2017	0,70	Regular
13/07/2017	0,61	Regular
27/07/2017	0,58	Regular
01/09/2017	0,87	Aceptable
14/09/2017	0,81	Aceptable
21/09/2017	0,89	Aceptable
05/10/2017	0,58	Regular
02/11/2017	0,73	Aceptable
15/11/2017	0,83	Aceptable

Fuente: elaboración propia.

Para el ICA de la época de invierno, se realizó un promedio de los doce resultados de laboratorio y se aplicó la metodología del Ideam. Se obtuvo un valor ICA de 0,62, cuya calidad se considera regular.

Temporada de verano

Los parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio, para el periodo de verano, comprendido desde la segunda mitad de noviembre 2017 y abril 2018, según el Ideam, se reportan en la Tabla 7. El rango de conductividad fue 113,5-211 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para los sólidos suspendidos totales, los valores variaron entre 2 y 205 mg/l, lo que muestra la transición invierno-verano. El valor más alto de disponibilidad química de oxígeno fue de 32 mg O_2/l .

Con estos datos obtenidos en el laboratorio, se calcularon los valores del ICA para el periodo de verano y la respectiva calificación de calidad

(Tabla 9). En todas las muestras, se obtuvo calidad aceptable de agua.

Tabla 9. Valor ICA por muestra para el periodo de verano

Fecha	ICA (por muestra)	Calificación ICA
20/04/2017	0,80	Aceptable
23/11/2017	0,88	Aceptable
29/11/2017	0,88	Aceptable
12/12/2017	0,80	Aceptable
19/12/2017	0,81	Aceptable
18/01/2018	0,86	Aceptable
16/02/2018	0,83	Aceptable
02/03/2018	0,83	Aceptable
26/03/2018	0,83	Aceptable
30/04/2018	0,84	Aceptable

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el valor del ICA en la época de verano, se realizó un promedio de los resultados de análisis de laboratorio, luego, se aplicó la ecuación para cada variable y finalmente en la ecuación general ICA_{nit} , se obtiene el índice ICA de 0,86 correspondiente a calidad de agua aceptable.

Relación parámetros invierno frente a verano

En la Tabla 10, se resumen los valores del índice ICA, calculados en los periodos de estudio. En todas las muestras durante el verano, se encontró la calidad del agua en una categoría aceptable, con valores de 0,86 y 0,80, promedio y mínimo, respectivamente. Para el periodo de invierno, el menor valor del índice fue de 0,35 y la calificación promedio en invierno es regular, con un valor del índice calculado en 0,62.

Tabla 10. Valor de ICA promedio y mínimo en verano e invierno (2017-2018), zona media del Río Cravo Sur (Yopal)

Época	ICA promedio	Calificación ICA promedio	ICA mínimo	Calificación ICA mínimo
Invierno	0,62	Regular	0,35	Malo
Verano	0,86	Aceptable	0,80	Aceptable

Fuente: elaboración propia.

Los parámetros fisicoquímicos influyen en la evaluación de la calidad de agua. Con los resultados de laboratorio se determinó que la zona media del río presenta una calidad regular en invierno y aceptable en verano. Por tal motivo, puede ser utilizada para consumo humano después de un tratamiento.

El periodo 2017-2018 se comparó con los valores de referencia climatológicos para los periodos

de invierno y de verano (Tabla 11). La precipitación mensual promedio y la temperatura promedio se compararon con los valores en un periodo de 30 años. La relación entre el valor en el periodo de estudio y el valor promedio climatológico indican que los valores son mayores, especialmente, en la precipitación promedio en el periodo de invierno, el cual registró 154 mm de agua al mes.

Tabla 11. Relación de precipitaciones mensuales y temperaturas promedio, en comparación con los valores climatológicos

Periodo	Precipitación mes estación / precipitación mes periodo de referencia* (mm H ₂ O)	Relación de precipitación	Temperatura promedio estación / temperatura mes periodo de referencia* (°C)	Relación de temperaturas
Verano	154,1/100,1	1,54	27,8/28	0,99
Invierno	341,1/296,1	1,15	25,8/26,8	1,04

* Valores mensuales promedio.

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 12 presenta el valor promedio de cada parámetro obtenido y el valor de desviación estándar respectivo, para invierno y verano. El parámetro que presenta mayor desviación para las dos épocas de estudio fue sólidos suspendidos totales (SST), cuyo valor en invierno fue de 571 mg/l, y en verano, de 60,6 mg/l. El segundo parámetro con mayor variabilidad fue la disponibilidad química de oxígeno (DQO), para la cual se reportó un valor de 10,97 mg O₂/l.

Los valores del índice de calidad del periodo de invierno están siendo afectados por la alta variabilidad y los valores altos del parámetro SST.

Los sólidos suspendidos en el agua son responsables de los picos de turbiedad que se presentan en las aguas crudas de las fuentes superficiales (Lozano y Lozano, 2015). Dentro de esta investigación, se presentaron valores de SST elevados en temporadas de invierno: se obtuvieron valores de 5000 mg/l para el mes de julio, lo que manifiesta datos de turbiedad mayores a 3000 NTU. Por el contrario, en verano, los valores máximos de SST son de 205 mg/l, con turbiedad de 130 NTU, obtenidos en el mes de diciembre, lo que resulta una disminución del 95,9 % en SST para la época de verano.

Tabla 12. Valor promedio y desviación estándar de cada parámetro por época

Parámetro	Promedio en invierno	Promedio en verano	DE* en invierno	DE* en verano
pH	7,99	7,48	0,129	0,35
T°	22,43	24,07	0,460	2,33
CE	124,54	154,37	15,10	38,14
OD	8,65	8,35	0,133	0,366
SST	1354,17	45,5	571,74	60,66
DQO	31,83	11,9	10,97	7,41

*DE: desviación estándar.

Fuente: elaboración propia.

El oxígeno disuelto registrado en las muestras tiene valores promedio de 8,65 mg O₂/l y de 8,35 mg O₂/l para cada periodo. La cantidad de oxígeno disuelto es una de las principales características para definir la salud de un ecosistema (Roa y Corredor, 2013). El oxígeno disuelto es vital para la mayoría de los organismos que viven en el agua. El oxígeno proviene del intercambio con la atmósfera o como producto de la fotosíntesis de plantas acuáticas y algas. Cuando este nivel cae por debajo de 4,0 mg O₂/l, la vida acuática corre riesgo. Tales valores implican intensos procesos de descomposición de materia orgánica (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2006). En este sentido, en la zona de estudio, el río Cravo Sur presenta valores de oxígeno disuelto adecuados para la preservación de organismo acuáticos.

El rango de pH en la mayor parte de los cuerpos de agua dulce no contaminados oscila entre 6,0 y 9,0 (UPRM, 2002). En este aspecto, la zona media del río presenta agua no contaminada. Asimismo, en época de invierno y verano presenta una variación máxima del 20 %, a lo que se atribuye que el pH se mantenga estable durante el año.

La conductividad es directamente proporcional a la cantidad de sales minerales y otras sustancias disueltas en el agua. Las muestras presentan resultados adecuados de conductividad eléctrica, debido a que el valor máximo por normatividad es 1000 µS/cm. La elevación del parámetro en temporada de verano se debe a la mayor concentración de estos compuestos, por las bajas precipitaciones.

La demanda química de oxígeno (DQO) permite determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas, así como la eficiencia de las unidades de tratamiento. Su determinación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. El aumento de la DQO contribuye a la disminución de la capacidad de depuración de las fuentes hídricas, que consiste en la eliminación de las sustancias contaminantes (Cortolima, 2003). Dentro de esta investigación, los valores más altos se presentaron en época de invierno (mayo), de modo que se presenta baja capacidad de

depuración en esta época, lo que exige mayor eficiencia en el proceso de tratamiento.

Finalmente, según el índice ICA, se determina que el agua del río Cravo Sur en época de invierno es de calidad regular, lo que implicará mayor exigencia y complejidad en el tratamiento que se implementará en la planta definitiva, esto a fin de obtener una calidad adecuada del agua para consumo humano.

Por otra parte, en los meses de verano, se registra una clasificación aceptable del agua en la zona del abastecimiento, por lo que se espera contar con condiciones más favorables para el tratamiento de los sistemas de potabilización.

La alta variabilidad en los meses de invierno, cuando también se encuentran los valores máximos de los parámetros analizados, pueden ser tenidos en cuenta en la planeación y operación del sistema de tratamiento de la planta definitiva del acueducto.

Conclusiones

Evaluar la calidad del agua en el punto de captación para abastecimiento en la zona media del río Cravo Sur, en la Vereda la Vega del municipio de Yopal, demuestra valores correspondientes a una calidad aceptable para la época de verano (ICA 0,86) y una calidad regular (ICA 0,62), para la época de invierno. Por tanto, se considera que se requerirá mayor exigencia en el tratamiento del sistema de potabilización en invierno.

En el periodo de verano, los valores del índice ICA obtenidos variaron entre 0,80 y 0,88, es decir, en todos los casos, la calificación de calidad del agua fue valorada como aceptable.

En el periodo de invierno, el rango de los valores del índice ICA fue 0,35-0,89, lo que corresponde a calidades del agua entre mala y aceptable. El parámetro con mayor variabilidad registrado fue sólidos suspendidos totales, pues se reportó un valor de 571,74 mg/l en desviación estándar. El siguiente valor en importancia con respecto a la variabilidad fue la disponibilidad química de oxígeno con un valor de 10,97 mg/l.

EL oxígeno disuelto registrado en las muestras de agua tiene valores promedio de 8,65 mg O₂/l y de 8,35 mg O₂/l, para cada periodo. Esto indica

niveles de oxígeno adecuados para sostener la vida del ecosistema en la zona.

Los valores de SST presentan una variación del 95,9% entre los datos máximos obtenidos en cada época, lo que manifiesta turbiedades mayores a 3000 NTU en temporada de invierno. Esto implica mayor exigencia en el tratamiento para obtener condiciones óptimas para el consumo humano.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración a la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal (EAAAY) y a la Fundación Universitaria de San Gil Unisangil, sede Yopal.

Conflicto de intereses

Los autores manifiestan que no existe conflicto de intereses en la publicación de la investigación.

Referencias

- Bernate, N., y Romero, J. (2017). Inventario de fuentes de abastecimiento de los sistemas de acueducto de las cabeceras municipales de Colombia (tesis de maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia.
- Bridgewater L., y Rice, E. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington: American Public Health Association.
- Caho, C., y López, E. (2017). Determinación del índice de calidad de agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral, empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción+Limpia* 12(2), 35-49. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (2006, 17 de octubre de 2016). Objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá lograr en el año 2020 [Acuerdo 43]. Recuperado de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac79bffa9920.pdf>
- Corporinoquia, UAESPNN y Corpoboyacá (2016). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Cravo Sur*. Yopal: Gobernación de Casanare.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima) (2003). Plan de Ordenamiento y manejo del río Saldaña. Recuperado de <https://bit.ly/2DZ2EUi>
- Cruz-Cárdenas, L. (2016). Diseño de modelo de simulación de la calidad de agua superficial en la quebrada El Arenal, municipio Junín Cundinamarca en época de estiaje (tesis de especialización). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Ideam (2011). *Hoja metodológica del indicador índice de calidad del agua (Versión 1.00)*. Bogotá: autor.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006). Vigilancia. En OMS, *Guías para la calidad del agua potable*. Tercera edición. Ginebra: autor. Recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq3/es/
- Ramírez, J., Osorio, H., y Parra-Peña, R. (2007). *Escalafón de la competitividad de los Departamentos en Colombia (Estudios y Perspectivas 16)*. Bogotá: Cepal. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4815/1/S0700110_es.pdf
- Roa, V., y Corredor, J. (2013) Análisis de la calidad del agua del Río Bogotá en el sector de Cajicá y municipios vecinos (tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

