

DOI: 10.24850/j-tyca-2025-01-05

Artículos

## Índice de calidad como indicador de efectividad en la potabilización del agua del río Carrizal

## Quality index as an indicator of effectiveness in the water's purification from Carrizal River

Ana Karina Alcívar-Cedeño<sup>1</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3885-6357>

<sup>1</sup>Facultad de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador, [akac1216@gmail.com](mailto:akac1216@gmail.com)

Autora para correspondencia: Ana Karina Alcívar-Cedeño, [akac1216@gmail.com](mailto:akac1216@gmail.com)

### Resumen

La calidad del agua superficial utilizada para la potabilización es de suma importancia debido a que de ella depende la funcionalidad que puedan tener los procesos dentro de una planta de tratamiento. Una forma de monitorear los ríos han sido los índices de calidad de agua. La Parroquia Rural San Antonio del Cantón Chone, Provincia de Manabí, Ecuador, recibe el agua tratada por una planta modular que tiene su captación en el río

Carrizal, es por ello que el presente artículo contempla el análisis del índice de calidad de agua en el sitio de captación como indicador de efectividad en el proceso de potabilización. En el río se establecieron tres puntos de muestreo y se evaluaron nueve parámetros de calidad en dos meses de temporada seca y dos meses de temporada lluviosa, a través de métodos gráficos y de ecuaciones, asimismo, la planta también fue monitoreada y comparada según la normativa vigente de calidad para agua potable. Los resultados del ICA-NSF en época de estiaje fueron 72.52 y 72.02, lo que refleja una calidad "Buena" y en época invernal 74.79 y 74.78, una calidad igualmente "Buena", sin embargo, la turbidez se incrementa de verano a invierno en un 98.93 %. De igual manera, la planta potabilizadora tuvo una buena calidad en la mayoría de los parámetros. Estos datos permitieron establecer que la planta de tratamiento proporciona efectividad en el proceso de potabilización con el agua que recibe de la captación en todos los parámetros a excepción del cloro libre residual.

**Palabras clave:** ICA, NSF, estiaje, modular, turbidez, potabilizadora.

## Abstract

The quality of the surface water that is used for purification is important because the functionality's processes in a treatment plant depends on it. One way of being able to monitor rivers has been the quality index. The Chone's rural Parish San Antonio, Manabí's province, Ecuador, receives the drinking water by a modular plant that has its catchment in the Carrizal river, that's why this article is based on analysis the water quality index at the Carrizal river catchment site as an indicator of effectiveness

in the purification process. Three sampling points were established on the river and nine quality parameters were evaluated in two months of the dry season and two months of the rainy season, from graphic methods and equations. The water treatment plant was monitored and compared according to the drinking water quality standard. The results of the NSF-WQI in summer season were 72.52 and 72.02, which reflects a "Good" quality and in winter 74.79 y 74.78, a "Good" quality too, however, turbidity increases from summer to winter by 98.93 %, the water treatment plant had a good quality compared to regulations in most parameters. The data allowed to know that the water treatment plant provides effectiveness in the purification process with the water it receives from the catchment in all parameters except for residual free chlorine.

**Keywords:** WQI, NSF, summer, modular, turbidity, water treatment plant.

Recibido: 09/05/2022

Aceptado: 27/09/2023

Publicado Online: 13/10/2023

## Introducción

La conservación y manejo del agua es de vital importancia, pues es considerada un recurso natural y necesario para el correcto desarrollo de la vida humana y del ecosistema (Barceló & Carrera, 2008).

Los sistemas fluviales, por estar expuestos al ambiente, son sujetos a cambios constantes al pasar de los años. La principal causa de esta alteración suele ser en la mayoría de los casos de origen antrópico (Castañé *et al.*, 1998).

Según lo mencionan Arroyo y Encalada (2009), el desarrollo urbanístico es una de las actividades por la que los seres humanos han utilizado las fuentes de agua sin tomar en cuenta las consecuencias que puede traer para la biodiversidad y el conveniente manejo de dicho recurso. Es por esto que la contaminación hídrica se ha convertido en un problema global.

Teniendo en cuenta a la UNESCO (2021), a nivel mundial se estima que el 80 % de todas las aguas residuales industriales y municipales son vertidas a los ríos sin tratamiento previo alguno, lo que tiene efectos dañinos tanto para la salud humana como para los ecosistemas. Esto conlleva a que unos 1.6 mil millones de personas a nivel mundial se enfrenten a la escasez “económica” del agua, lo que determina que aunque el agua se encuentre realmente disponible, carecen de la infraestructura necesaria para acceder a ella, como los sistemas de potabilización, que ayudan a tratar agua contaminada.

En cuanto al Ecuador, la mayoría de las investigaciones demuestran que los microorganismos patógenos tienen presencia en gran parte de los

ríos del país, especialmente en las cuatro cuencas más grandes, como la del río Mira, Esmeraldas, Guayas y Pastaza, que poseen altos grados de contaminación por coliformes fecales (Da Ros, 1995), y que al mismo tiempo, según lo establecido por Jacobsen (2003) en lo que respecta a la contaminación orgánica, los ríos tropicales de alta montaña, como los de la sierra ecuatoriana, son los más susceptibles a ella, debido a que al encontrarse a una altura entre los 2 500 y 3 000 metros sobre el nivel del mar, viven un estrés natural de deficiencia de oxígeno y debido a esto resisten menos a la reducción de la saturación de oxígeno causada por una contaminación de carácter orgánico, es por ello que necesitan un control ambiental riguroso.

Como lo afirman Arcos, Ávila, Estupiñan y Gómez (2005), dentro del Cantón Chone, Provincia de Manabí, Ecuador, existen enfermedades de origen hídrico debido a la contaminación. Y, a la vez, de conformidad con la información obtenida en el Hospital General y el Subcentro de Salud de la ciudad, los casos más comunes son vómito, diarrea, rotavirus y gastroenteritis, que se vinculan con aguas residuales negras que son arrojadas sin ningún tipo de tratamiento a los ríos.

En este ámbito de salud pública, con base en lo establecido por Bofill-Mas *et al.* (2016), dentro de la historia han existido ejemplos de brotes infecciosos, como los de Shanghái en 1988, en el que se produjeron 300 000 casos de hepatitis A y 25 000 de gastroenteritis virales debido al consumo de moluscos cultivados en un estuario con contaminación fecal, un brote de gastroenteritis por norovirus probablemente asociado con el consumo de agua con contaminación fecal en una residencia de ancianos en Albacete que afectó en 1999 a 341

personas y los brotes de hepatitis E en Kanpur en 1991, que afectaron a 79 000 personas. Otra infección se dio en 2004 en Sudán, que perjudicó a 6 861 personas y causó 87 muertes en la región de Darfur, donde el número de casos continúa incrementándose.

Como consecuencia al efecto que trae consigo a la salud, se hace necesario monitorear la calidad en las fuentes superficiales, para lo cual se han implementado varias metodologías, que incluyen los índices de calidad de agua, los mismos que toman en cuenta ciertos parámetros físico-químicos y microbiológicos, y mediante una ponderación, cuantifican si la misma es apta para consumo humano o requiere cierto tipo de tratamiento.

El índice más utilizado y en el que se basan la mayoría de estudios a nivel mundial es el desarrollado por la Fundación de Saneamiento de EUA (ICA-NSF) en 1970, el cual emplea nueve parámetros de calidad. Las aguas altamente contaminadas tendrán un ICA por debajo del 50 %, mientras que en aguas fluviales en buenas condiciones el valor estará cercano al 100 % (Chang, 2010).

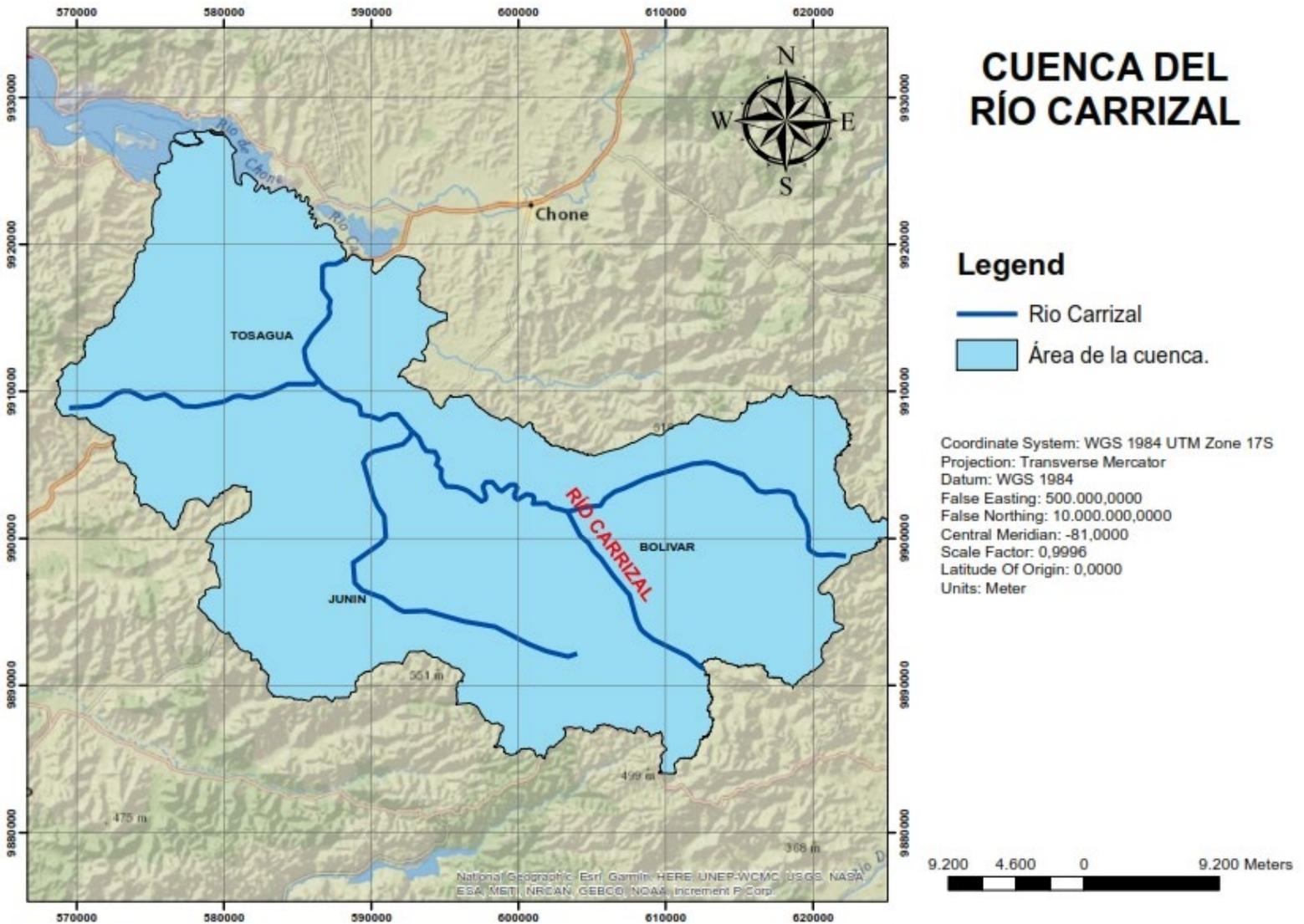
Basado en estos antecedentes y al no contarse con investigaciones acerca de polución hídrica en esta área del Cantón Chone, Provincia de Manabí, Ecuador, resultó necesario el análisis del índice de calidad de agua (ICA-NSF) en el sitio de captación, ubicado en el río Carrizal, como indicador de efectividad en el proceso de potabilización de la planta de tratamiento que abastece de agua a la Parroquia San Antonio del Cantón Chone en temporada seca y lluviosa, a través del método establecido por la Fundación de Sanidad de EUA. Además, se plantearon objetivos específicos en el presente estudio, los cuales comprendieron la

caracterización de la calidad del agua del río Carrizal mediante la implementación de una red de muestreo y medición de los parámetros necesarios para el cálculo del ICA-NSF, el análisis de los diferentes valores del ICA-NSF determinados en la experimentación a través de métodos estadísticos y, finalmente, la comprobación la calidad del agua potable que es distribuida a la parroquia San Antonio del Cantón Chone.

## Antecedentes de la cuenca del río Carrizal

Los ríos de la región costa ecuatoriana tienen su origen en la Cordillera de los Andes. La cuenca Carrizal-Chone, también conocida cuenca Bahía, está formada por dos subcuencas cuando estos ríos se separan: una, atravesada por el río Chone con sus afluentes pertenecientes al río Grande, río Mosquito, río Garrapata y río San Lorenzo; y la otra por el río Carrizal con sus afluentes: el río Canuto, río Chico, estero Tigra, río Severino, estero Julián, río Bejuco, estero Chorrillo, Mamey, estero Zapote, río Canoas, río Barro, río Trueno, río Mosca, estero Sarampión, río Junín y río Bachillero (Barahona & Tapia, 2010)

La cuenca del río Carrizal, como lo indica la Figura 1, se ubica en la provincia de Manabí y está comprendida entre las coordenadas  $1^{\circ} 4' 15.04''$  S,  $79^{\circ} 52' 11.79''$  W. Abarca un área de aproximadamente  $1\,390\text{ km}^2$ , y limita con las cuencas de los ríos Briceño y Jama por la zona norte, con las cuencas de los ríos Portoviejo y Guayas por el lado sur, con el océano Pacífico y con la cuenca del estero Pajonal por el este, y con la cuenca del río Guayas por el oeste (Muñoz, Macías, & García, 2009).



**Figura 1.** Ubicación de la cuenca del río Carrizal, provincia de Manabí.

En cuanto a las características físicas, la cuenca del río Carrizal nace en la cota 600 msnm en montañas de arroyo del sitio Membrillo, Cantón Bolívar, su área de drenaje es de 2 597 km<sup>2</sup>, y altitud media y mínima de 200 y 6 msnm, respectivamente, la longitud de su río es de 83 km y

cuenta con una pendiente media de 0.716 %. Las aguas del río Carrizal son reguladas por la presa La Esperanza, por lo que su caudal del 95 % es de 10 m<sup>3</sup>/s en estiaje y 24.01 m<sup>3</sup>/s en época invernal (Barahona & Tapia, 2010).

Por otra parte, el lugar cuenta con actividades ganaderas y agrícolas, siendo una parte importante en del dínamo de la economía del sector; también se dedica a la pesca artesanal de camarón de río y chame.

## **Descripción general de la Parroquia San Antonio del cantón Chone**

El cantón Chone posee una extensión de 3 570 km<sup>2</sup>; se localiza al centro norte de la región litoral del Ecuador en una extensa llanura, atravesada por el río Chone a una altitud de 17 msnm. Limita al norte con el Cantón Pedernales y la provincia de Esmeraldas; al sur, con Pichincha, Bolívar y Tosagua; al este, con la provincia de Esmeraldas y cantones como El Carmen y Flavio Alfaro, y al oeste con los cantones San Vicente, Sucre, Jama y Pedernales (GADCHONE, 2014).

Según da a conocer el Gobierno Autónomo Descentralizado de San Antonio, la Parroquia se ubica al suroeste del cantón Chone. Limita al norte con la Parroquia Boyacá; al sur con Bachillero; al este con la cabecera cantonal de Chone y la Parroquia Canuto; y al oeste con los cantones Tosagua y San Vicente. Tiene una extensión de 32.2 km<sup>2</sup> y 6 705 habitantes repartidos en 1 124 habitantes en el perímetro urbano y 5 581 habitantes en el área rural. Abarca recintos principales como Bravos Chicos, la Sabana, Sabana Nueva, los Horconcitos, la Segua, el Cerro,

Badeal, la Papaya, Punta y Filo, Cabecera de Barquero, las Playitas, Simbocal, la Margarita y San Esteban de Tiro Libre.

En lo que respecta al relieve, la Parroquia está rodeada de elevaciones con pocos metros de altura, utilizados por los mismos campesinos de la zona para el cultivo de ciclos cortos, como el maíz. Cuenta con un clima tropical, cálido, fresco y húmedo.

Referente a la hidrografía, la Parroquia se encuentra atravesada por el río Chone bañando sus valles y vertiendo sus aguas en el océano Pacífico (GADSanAntonio, 2019).

La dotación de agua potable de la Parroquia San Antonio del cantón Chone se realiza gracias a la planta de tratamiento modular convencional ubicada 7 km más lejos de la misma, a la altura del sitio la Bachillero-Santa Martha, la cual capta su agua cruda en un río diferente al que la atraviesa, como es el caso del río Carrizal, y está formada por una pequeña área de mezcla, filtros primarios, que tratan en poca escala dicha agua.

## Índice general de la calidad de agua-ICA

Los índices de calidad del agua son un componente importante del manejo global integrado de los recursos hídricos (LekshmiPrasad & Mophin, 2017).

Castro, Almeida, Ferrer y Díaz (2014) aluden que el ICA es un indicador compuesto que agrupa la información de varios lineamientos que cuantifican el grado de alteración de las cualidades naturales del agua. Este mecanismo matemático puede ser utilizado para la

transformación de grandes datos sobre la calidad del agua en una escala de medición única, a fin de poder compartir información sobre la calidad hídrica a las jurisdicciones pertinentes en todo el mundo.

El índice general de calidad del agua fue desarrollado por Brown, Maclelland, Deininger y Tozer (1970), y mejorado por Deininger para la Academia Nacional de Ciencias de EUA en 1975. Con estos estudios, el Departamento Escocés para el Desarrollo, en colaboración con instituciones regionales para la preservación del agua, llevaron a cabo extensas investigaciones para evaluar la calidad del recurso en ríos de Escocia.

Para 2006, a partir de los antecedentes de los años anteriores, The National Sanitation Foundation (NSF) de EUA desarrolló el índice de calidad de agua, en base a nueve parámetros: turbidez, cambio de temperatura ( $\Delta T$ ), sólidos disueltos totales (TDS), demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), oxígeno disuelto potencial de hidrogeno (pH), nitratos ( $NO_3^{-1}$ ), fosfatos ( $PO_4^{-3}$ ) y coliformes fecales (NSF, 2006).

Entre las ventajas de los ICA se tiene que aportan información relevante sobre el estado en el que se encuentra un recurso hídrico para la aplicación de soluciones ambientales, además de ser favorable para la evaluación espaciotemporal de la calidad del agua y sus aplicaciones. Entre sus limitaciones se encuentran la síntesis de sus datos y además se aplican según las condiciones ambientales de cada país (Rodríguez, Serna, & Sánchez, 2016).

## Materiales y métodos

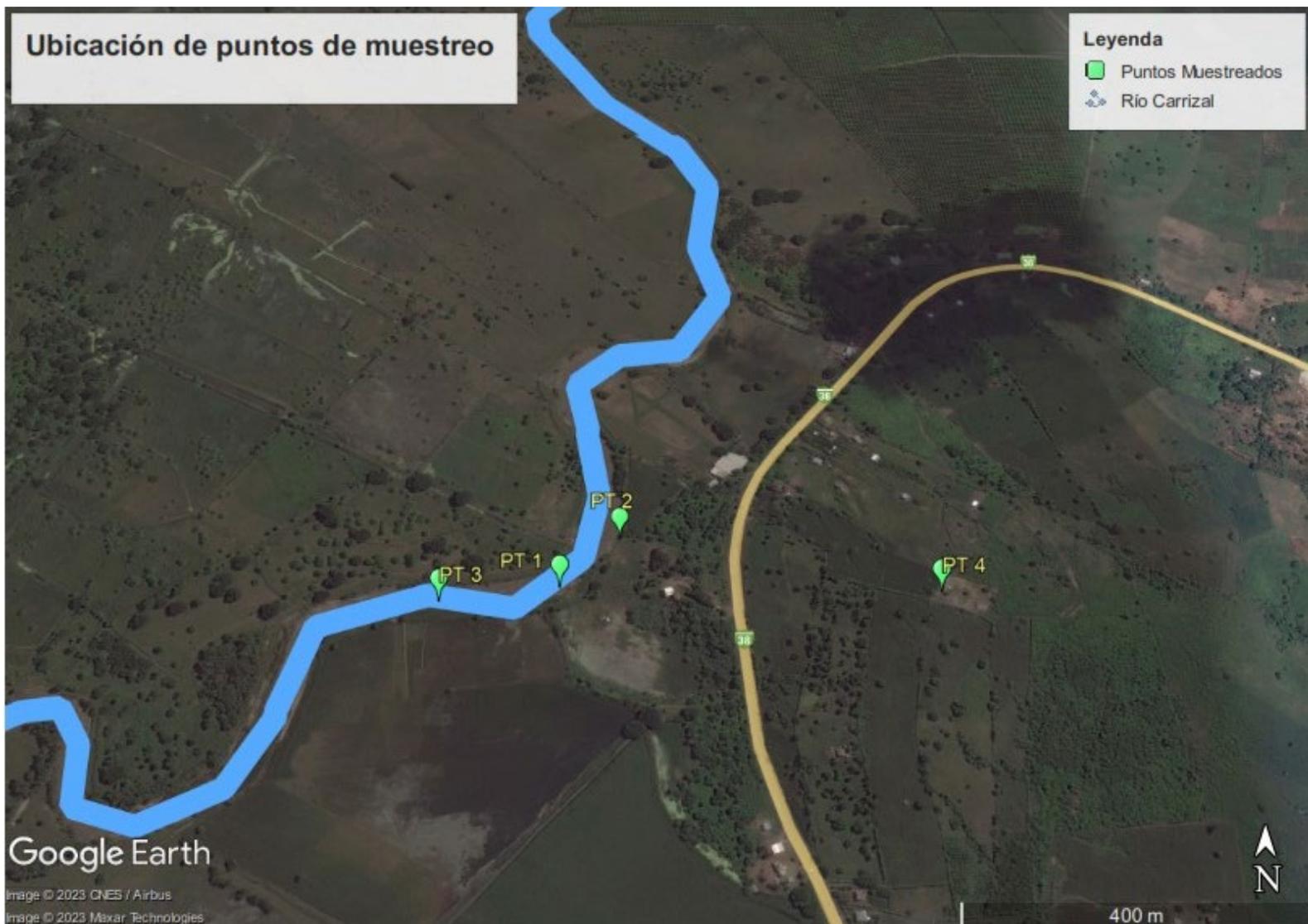
### Localización de puntos de muestreo

La investigación se realizó en la captación de agua cruda ubicada en el río Carrizal, a la altura del sitio Bachillero-Santa Martha y en la planta de tratamiento que abastece de agua potable a la Parroquia Rural de San Antonio en el cantón Chone de la provincia de Manabí.

Los puntos de muestreo analizados en el presente trabajo tuvieron las coordenadas mostradas en la Tabla 1 y la ubicación de la Figura 2.

**Tabla 1.** Coordenadas de puntos de muestreo realizados.

Descripción	Coordenada este	Coordenada norte
Punto 1 (captación Bachillero-Santa Martha)	588063.00	9918686.00
Punto 2 (100 m aguas abajo de la captación)	588143.00	9918764.00
Punto 3 (100 m aguas arriba de la captación)	587901.00	9918665.00
Punto 4 (planta de tratamiento de la Parroquia San Antonio)	588570.00	9918654.00



**Figura 2.** Ubicación de puntos de muestreo realizados.

## Muestreo y descripción de los trabajos

Se ejecutaron cuatro muestreos y con ello se evaluaron dos temporadas del año. El verano en septiembre y noviembre de 2020, y el invierno en enero y marzo de 2021 en tres puntos estratégicamente seleccionados:

uno en la captación Bachillero-Santa Martha, 100 m aguas abajo y 100 m aguas arriba de la misma, con la finalidad de analizar la secuencia y dilución de los contaminantes a lo largo de ese tramo del río.

Las variables respuesta a este estudio fueron los nueve parámetros de calidad utilizados en el cálculo del ICA-NSF, mismos que correspondieron a coliformes fecales, pH, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, DBO<sub>5</sub>, cambio de temperatura, sólidos disueltos totales y turbidez.

Además, se tomó otro punto a la planta de tratamiento que abastece de agua potable a la Parroquia de San Antonio en las mismas fechas como análisis de control, que conllevó a obtener parámetros como coliformes fecales, pH, nitratos, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales, color aparente, dureza total, conductividad eléctrica, cloruros, nitritos, sulfatos y cloro libre residual.

En cuanto a la toma de muestras, se basó principalmente en las normas vigentes dentro del país:

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 agua: calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98 agua: calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo.

Cabe recalcar que las muestras tomadas para el presente estudio fueron compuestas, que se refieren a muestras simples o puntuales que fueron tomadas en los sitios de análisis cada 2.4 horas durante 24 horas en pequeñas porciones, proporcional al caudal de la captación del río Carrizal hasta formar la muestra total o compuesta, según lo establecido

en la normativa INEN 2176:98. Las mediciones de los parámetros de calidad se hicieron por triplicado, a fin de obtener una mayor exactitud en los resultados obtenidos.

## **Metodología de medición de los parámetros de análisis**

En la Tabla 2 y Tabla 3 se pueden observar los parámetros de calidad junto con los métodos de ensayo utilizados tanto para el agua cruda como potable.

**Tabla 2.** Parámetros de calidad y sus métodos de ensayo en agua de río.

Núm.	Parámetro	Unidad	Técnica de ensayo según Standard Methods for Examination and Wastewater 23th edition	Equipo utilizado	Lugar realizado
1	Coliformes fecales	NMP/100 ml	9221 F	Incubadora de laboratorio	Laboratorio
2	pH	unidades de pH	4500-H+B	Multiparámetros HACH HQ40D	Sitio de muestreo
3	DBO <sub>5</sub>	mg/l	5210 D	Equipo respirométrico BOD Trak II HACH	Laboratorio
4	Nitratos	mg/l	4500-NO <sub>3</sub> -E	Espectrofotómetro HACH 3900	Laboratorio
5	Fosfatos	mg/l	4500-P	Espectrofotómetro HACH 3900	Laboratorio
6	Cambio de temperatura	°C	2550 B	Multiparámetros HACH HQ40D	Sitio de muestreo
7	Turbidez	NTU	2130 B	Turbidímetro HACH	Laboratorio
8	Sólidos disueltos totales	mg/l	JF-AF-04	Multiparámetros HACH HQ40D	Sitio de muestreo
9	Oxígeno disuelto	% sat	4500-O G	Multiparámetros HACH HQ40D	Sitio de muestreo

Fuente: Elaboración propia a partir de Eaton, Rice y Rodger (2017).

**Tabla 3.** Parámetros de calidad y sus métodos de ensayo en agua potable.

Núm.	Parámetro	Unidad	Técnica de ensayo según Standard Methods for examination and wastewater 23th edition	Equipo utilizado	Lugar realizado
1	Coliformes fecales	NMP/100 ml	9221 F	Incubadora de laboratorio	Laboratorio
2	pH	unidades de pH	4500-H+B	Multiparámetros HACH HQ40D	Sitio de muestreo
3	Nitratos	mg/l	4500-NO3-E	Espectrofotómetro HACH 3900	Laboratorio
4	Temperatura	°C	2550 B	Multiparámetros HACH HQ40D	Sitio de muestreo
5	Turbidez	NTU	2130 B	Turbidímetro HACH	Laboratorio
6	Sólidos disueltos totales	mg/l	JF-AF-04	Multiparámetros HACH HQ40D	Sitio de muestreo
7	Color aparente	U. Pt-Co	2120 C	Colorímetro HACH DR 900	Laboratorio
8	Dureza total	mg/l	2340 B	Titulador-bareta/matraz Erlenmeyer	Laboratorio
9	Conductividad eléctrica	μS/cm	2510 B	Multiparámetros HACH HQ40D	Sitio de muestreo
10	Cloruros	mg/l	4500-Cl+B	Titulador-bareta/matraz Erlenmeyer	Laboratorio

Núm.	Parámetro	Unidad	Técnica de ensayo según Standard Methods for examination and wastewater 23th edition	Equipo utilizado	Lugar realizado
11	Nitritos	mg/l	4500-NO <sub>2</sub> -	Espectrofotómetro HACH 3900	Laboratorio
12	Sulfatos	mg/l	4500-SO <sub>4</sub> 2C	Espectrofotómetro HACH 3900	Laboratorio
13	Cloro libre residual	mg/l	4500-Cl-	Colorímetro disco de comparación	Sitio de muestreo

Fuente: Elaboración propia a partir de Eaton et al. (2017).

## Metodología de cálculo del ICA-NSF

El cálculo del ICA engloba dos parámetros principales, que son parte de la ecuación aritmética que muestra el promedio ponderado de los nueve parámetros de calidad propuesta por Brown *et al.* (1970) como índice general y desarrollada por la NSF (2006):

$$\text{ICA} - \text{NSF} = \sum_{i=1}^9 \text{Sub}_i * W_i \quad (1)$$

Donde:

ICA = índice de calidad de agua

NSF = National Sanitation Foundation

Sub<sub>*i*</sub> = subíndice de la variable *i*, en función del resultado del parámetro a analizar

$W_i$  = peso ponderado de la variable  $i$ , en función del grado de importancia del parámetro en la contaminación del curso de agua

Para la determinación de la variable  $W_i$  se utiliza una lista de pesos ponderados asignados a cada parámetro de acuerdo con su grado de importancia en la contaminación, tal cual lo demuestra la Tabla 4.

**Tabla 4.** Valores relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF.

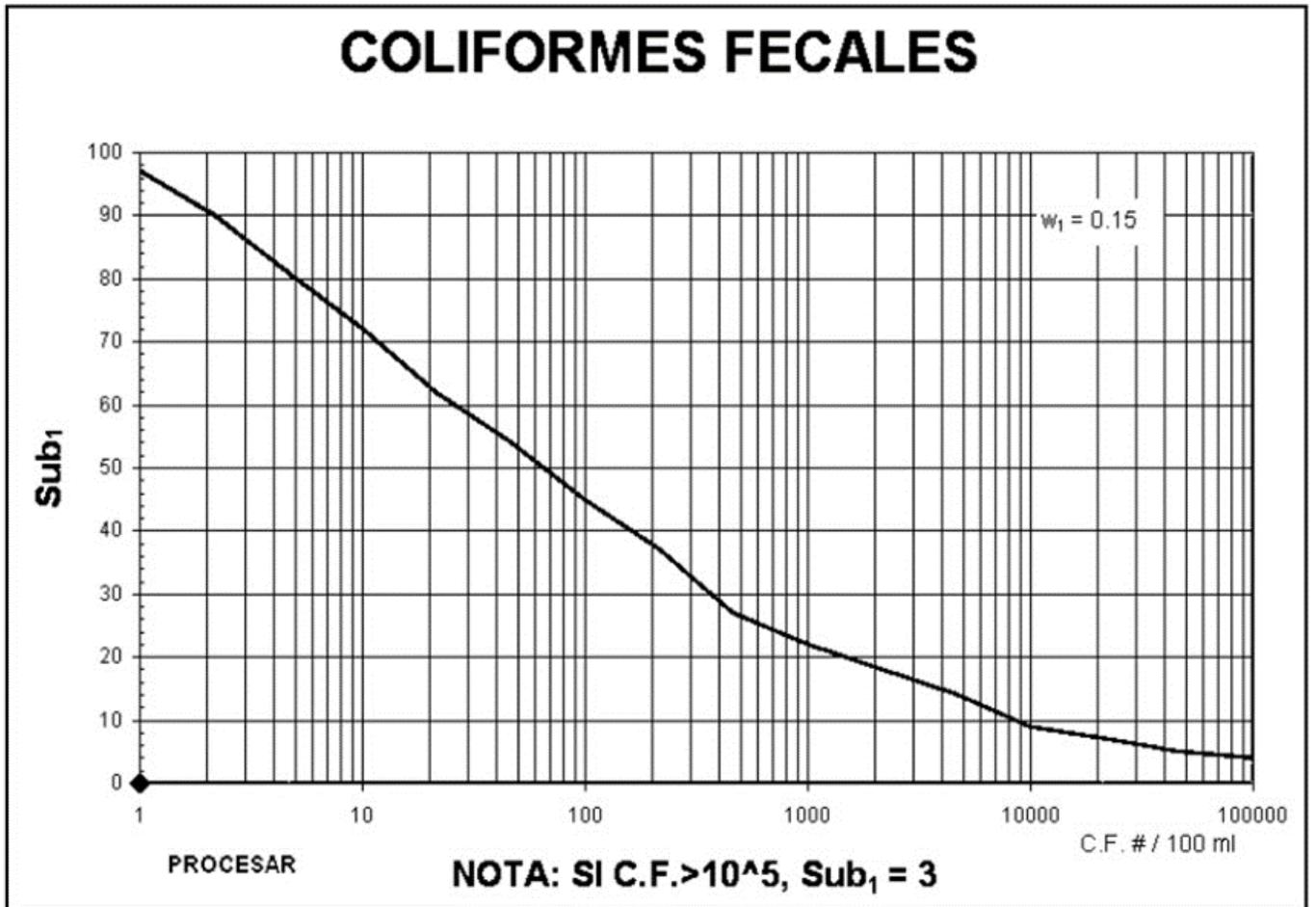
Parámetro	Peso ponderado
Coliformes fecales (CF)	0.15
Potencial de hidrógeno (pH)	0.12
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	0.10
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )	0.10
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.10
Cambio de la temperatura	0.10
Turbidez	0.08
Sólidos totales disueltos (TDS)	0.08
Oxígeno disuelto	0.17

Fuente: adaptado de SNET (2007).

Para la determinación de los subíndices de las variables  $Sub_i$ , la presente investigación se basó en dos métodos de cálculo que se describen a continuación.

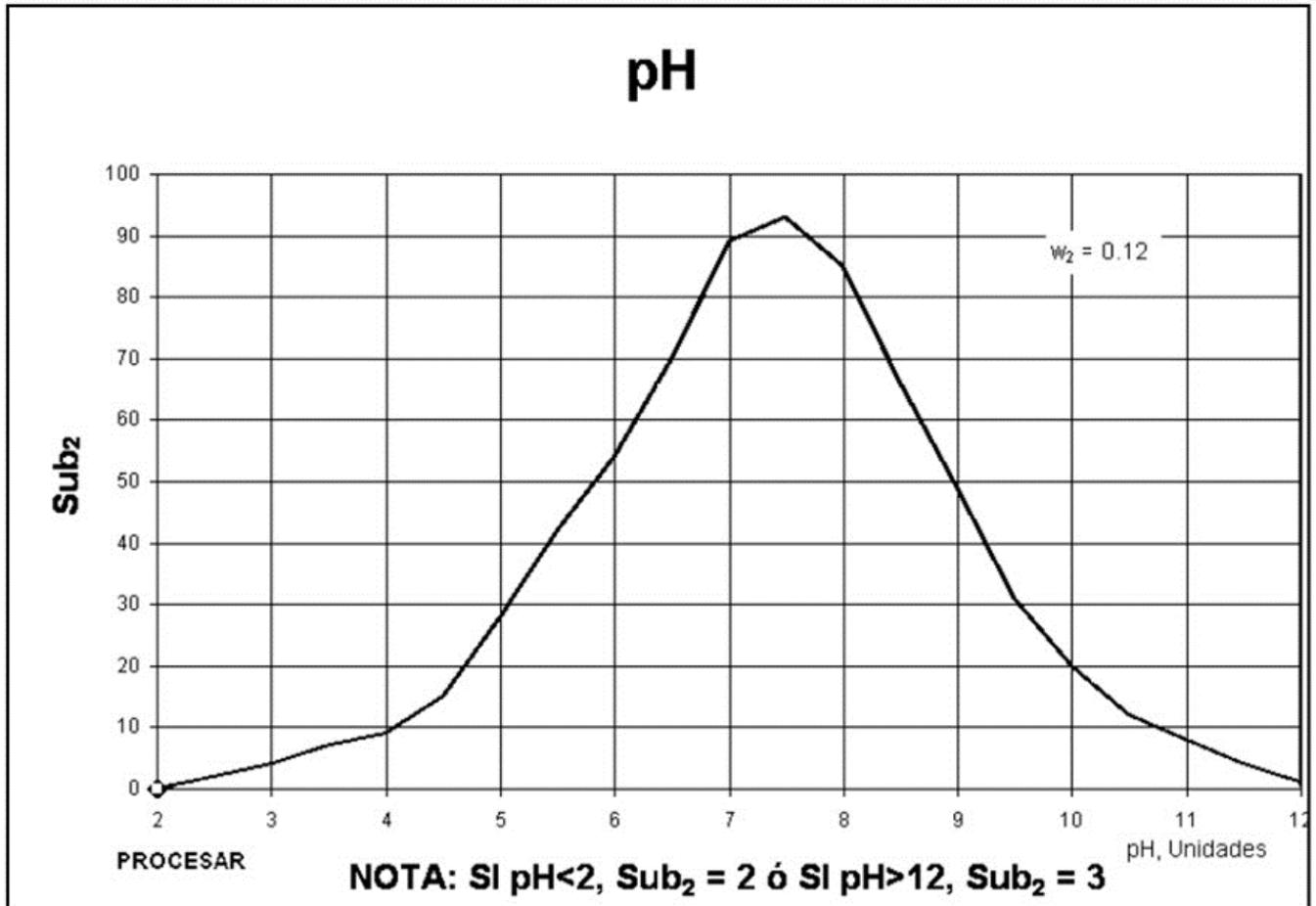
## Determinación de subíndices de variables por el método de gráfico

Los resultados promedio de cada uno de los parámetros obtenidos en el muestreo se ingresan al eje de las abscisas; se traza una línea recta y perpendicular que corte en el eje de las ordenadas, y justo en el momento en el que aquella línea trazada hacia arriba corta la curva de función se interpola el valor  $y$ . Es un método empírico, pues depende en gran medida del punto de vista del autor y de la forma que se considere tanto los valores de  $x$  como de  $y$ , los mismos que se encuentran en gráficos a diferentes escalas, ya sean gráficas o logarítmicas según el parámetro que se analice. A continuación, en la Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10 y Figura 11 se muestran las curvas de función que se utilizaron:

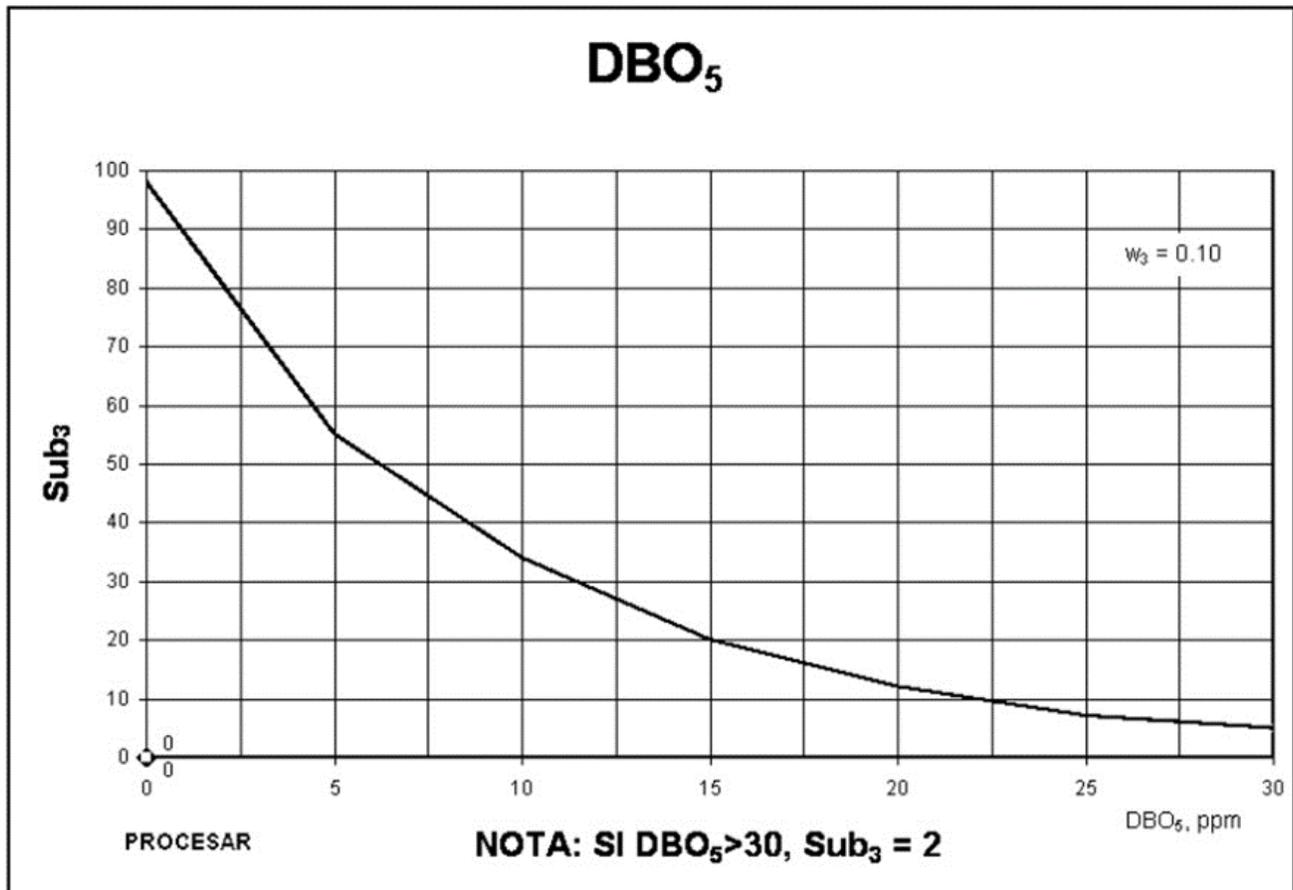


**Figura 3.** Curva de función de calidad NSF de coliformes fecales.

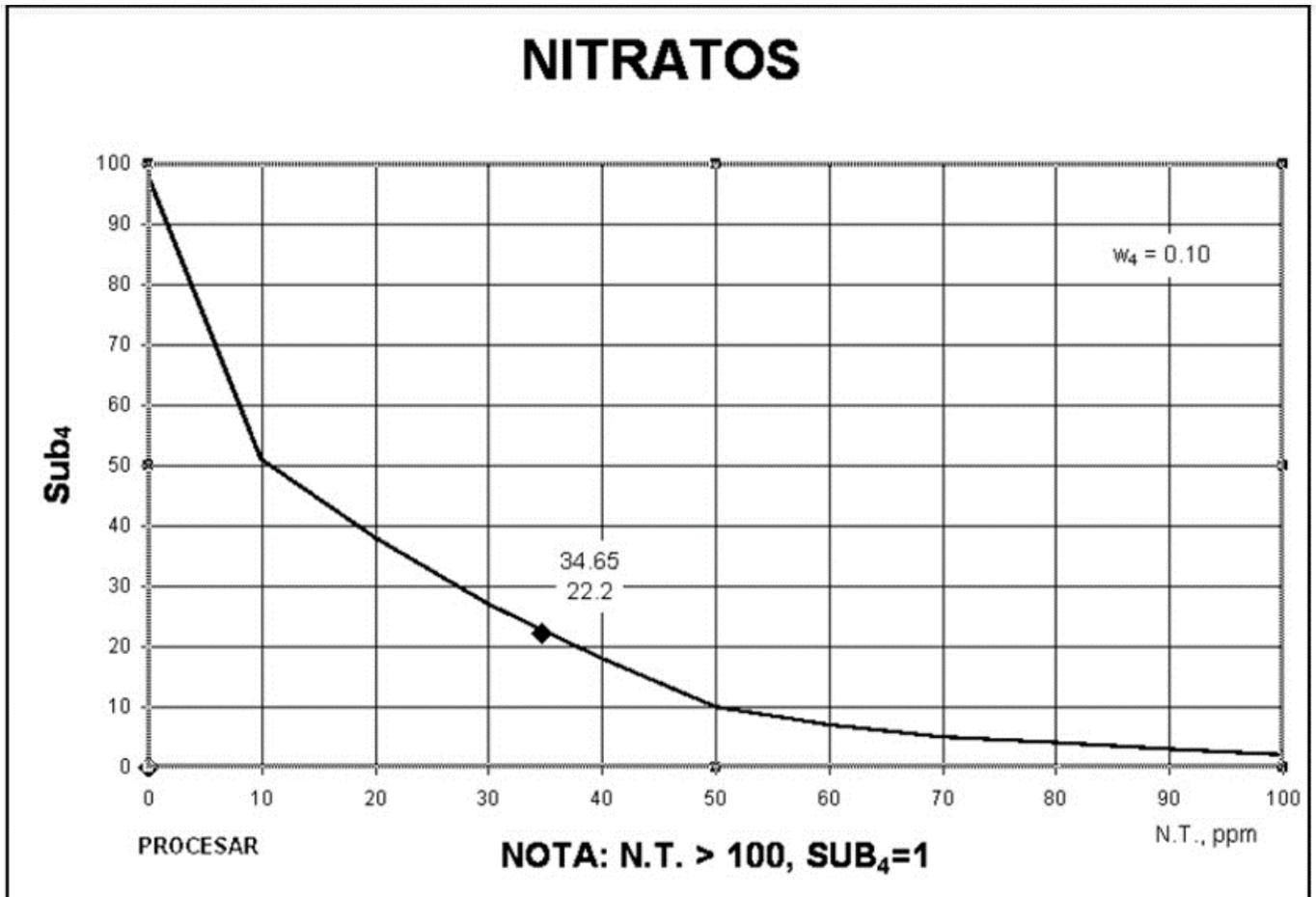
Fuente: adaptado de SNET (2007).



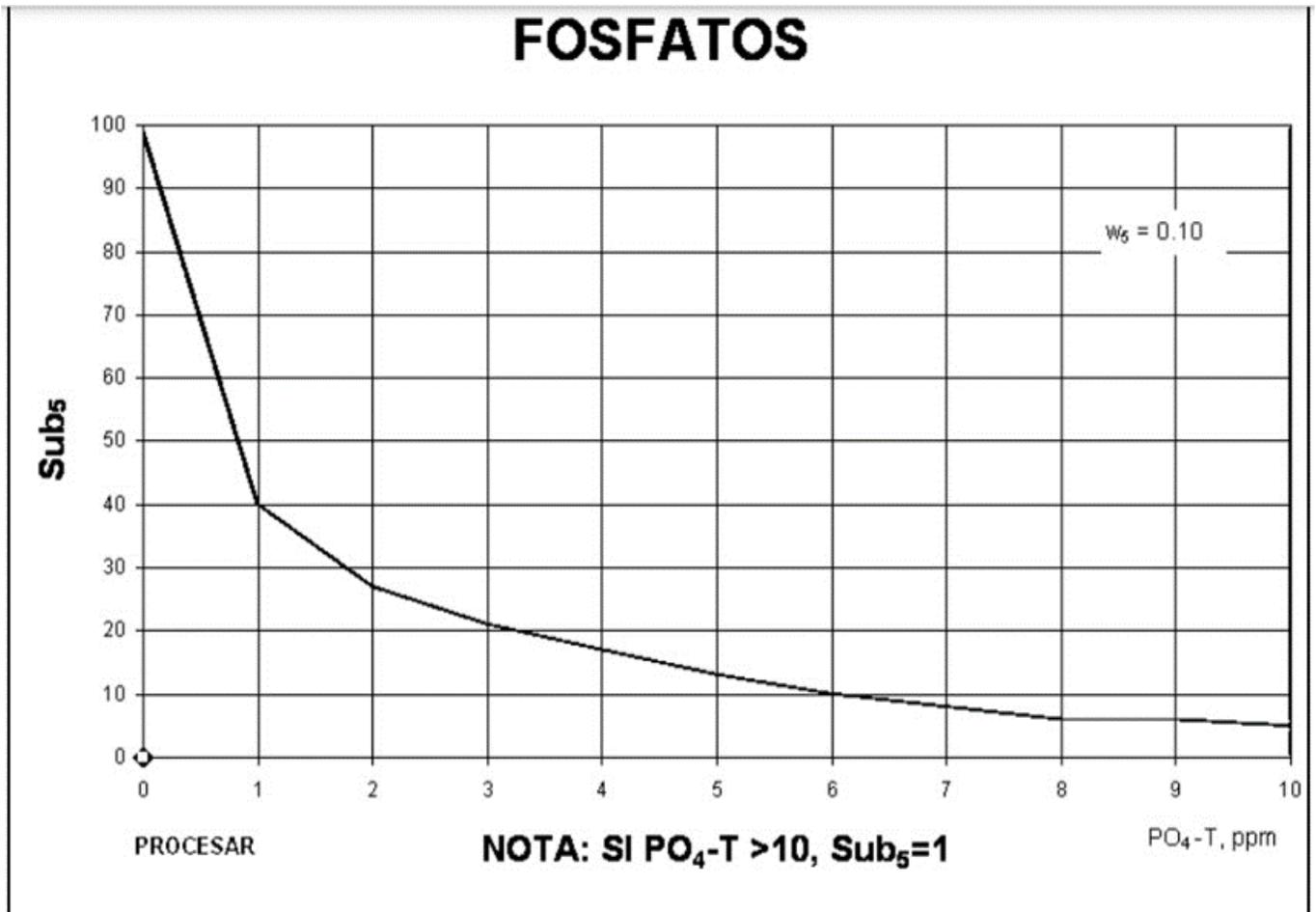
**Figura 4.** Curva de función de calidad NSF de pH. Fuente: adaptado de SNET (2007).



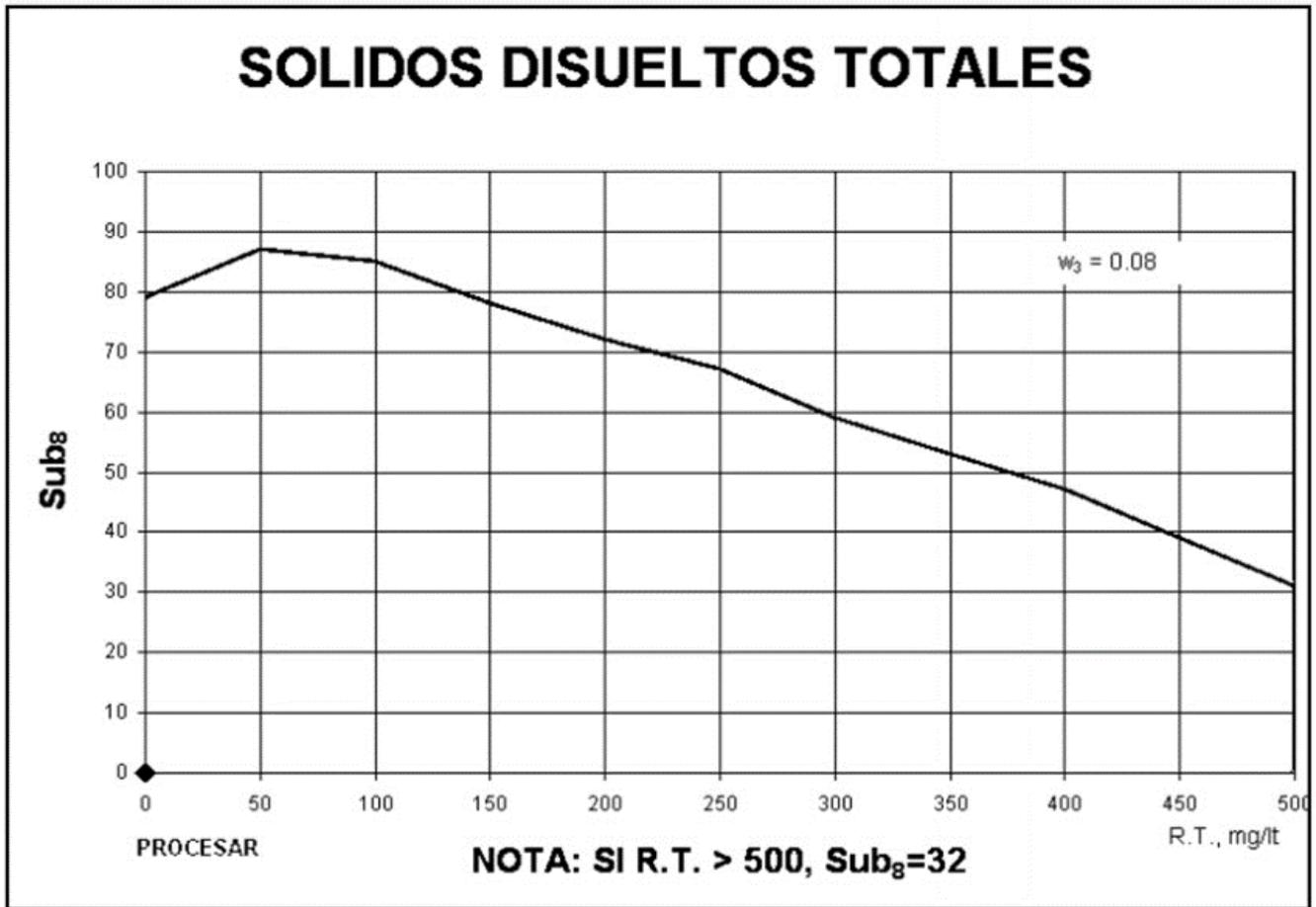
**Figura 5.** Curva de función de calidad NSF de DBO<sub>5</sub>. Fuente: adaptado de SNET (2007).



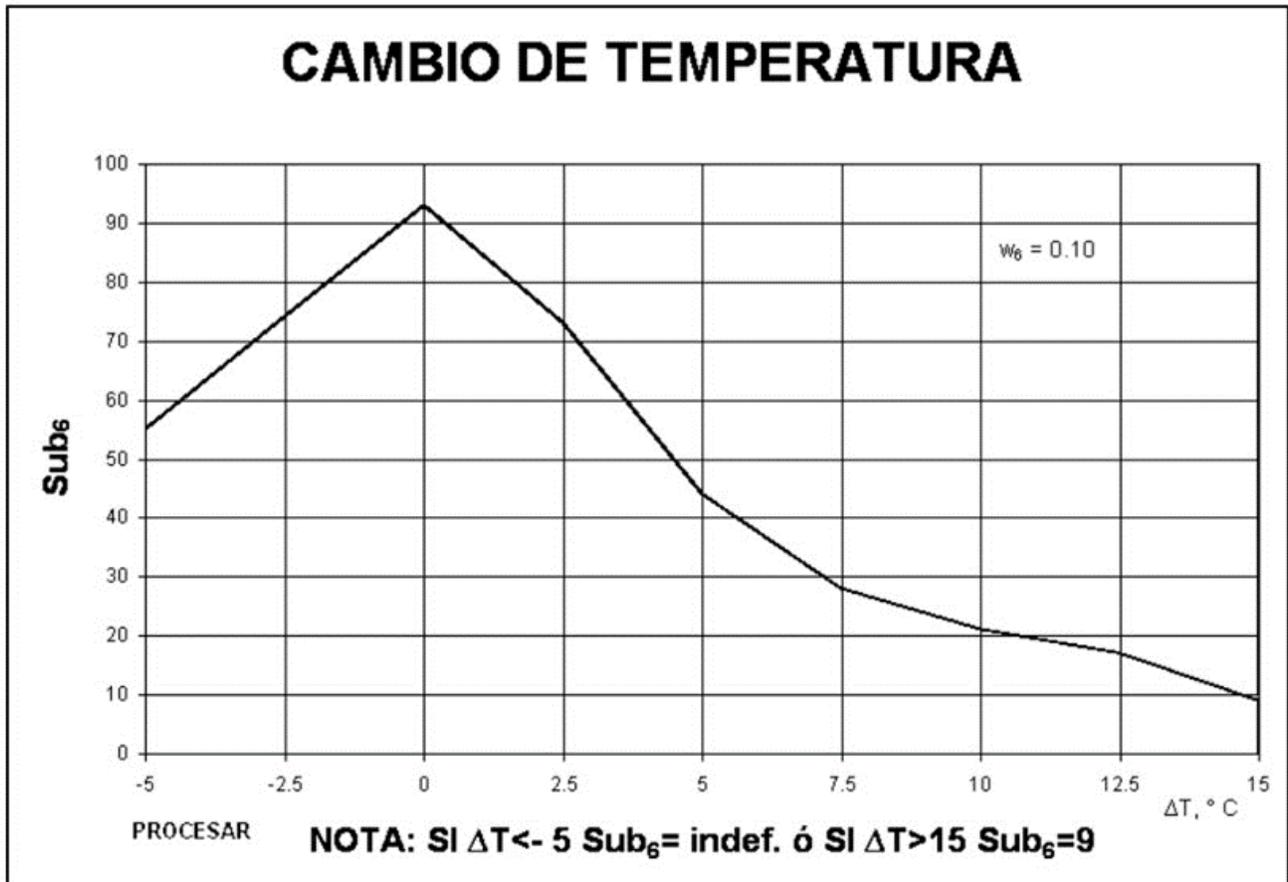
**Figura 6.** Curva de función de calidad NSF de nitratos. Fuente: adaptado de SNET (2007).



**Figura 7.** Curva de función de calidad NSF de fosfatos. Fuente: adaptado de SNET (2007).

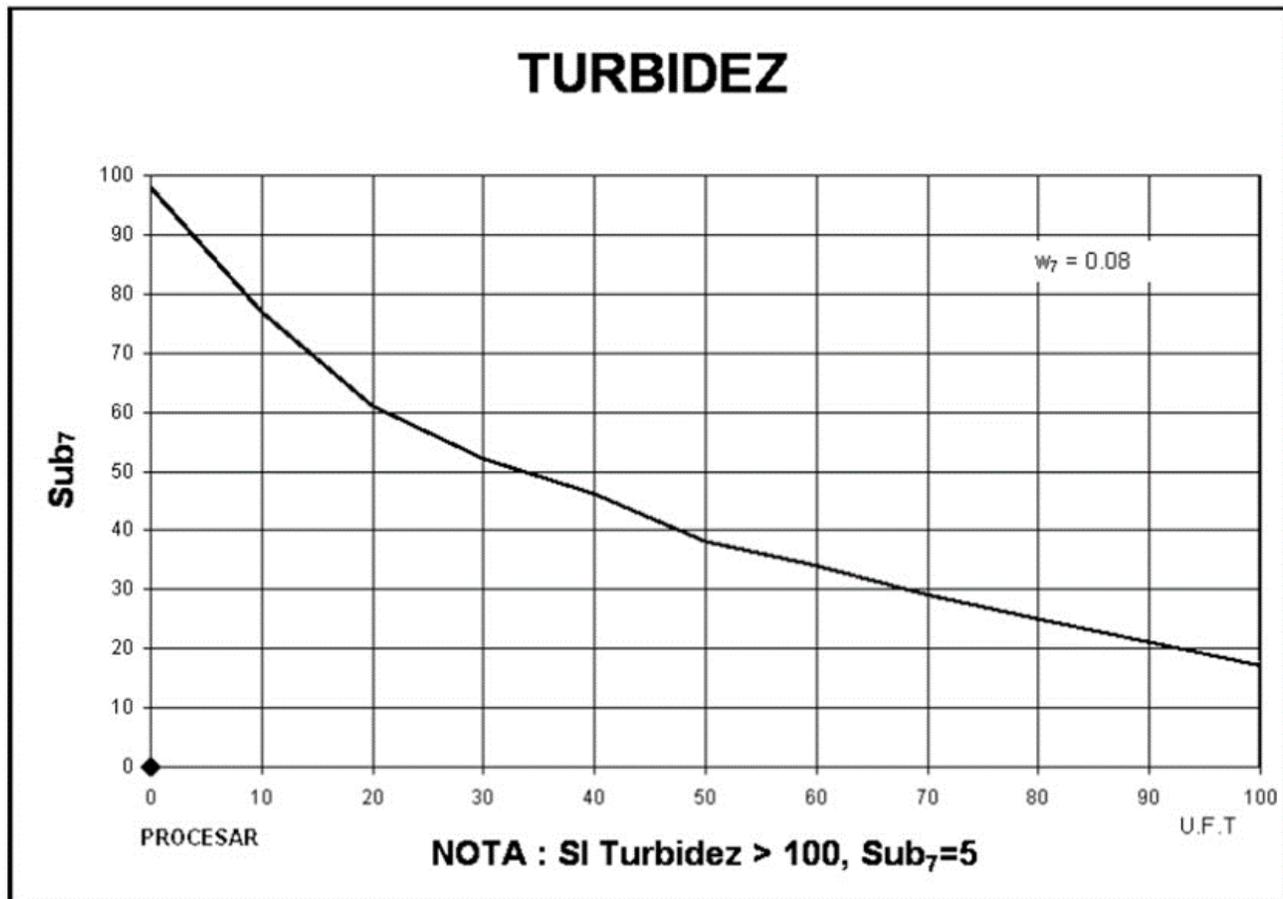


**Figura 8.** Curva de función de calidad NSF de sólidos disueltos totales.  
Fuente: adaptado de SNET (2007).

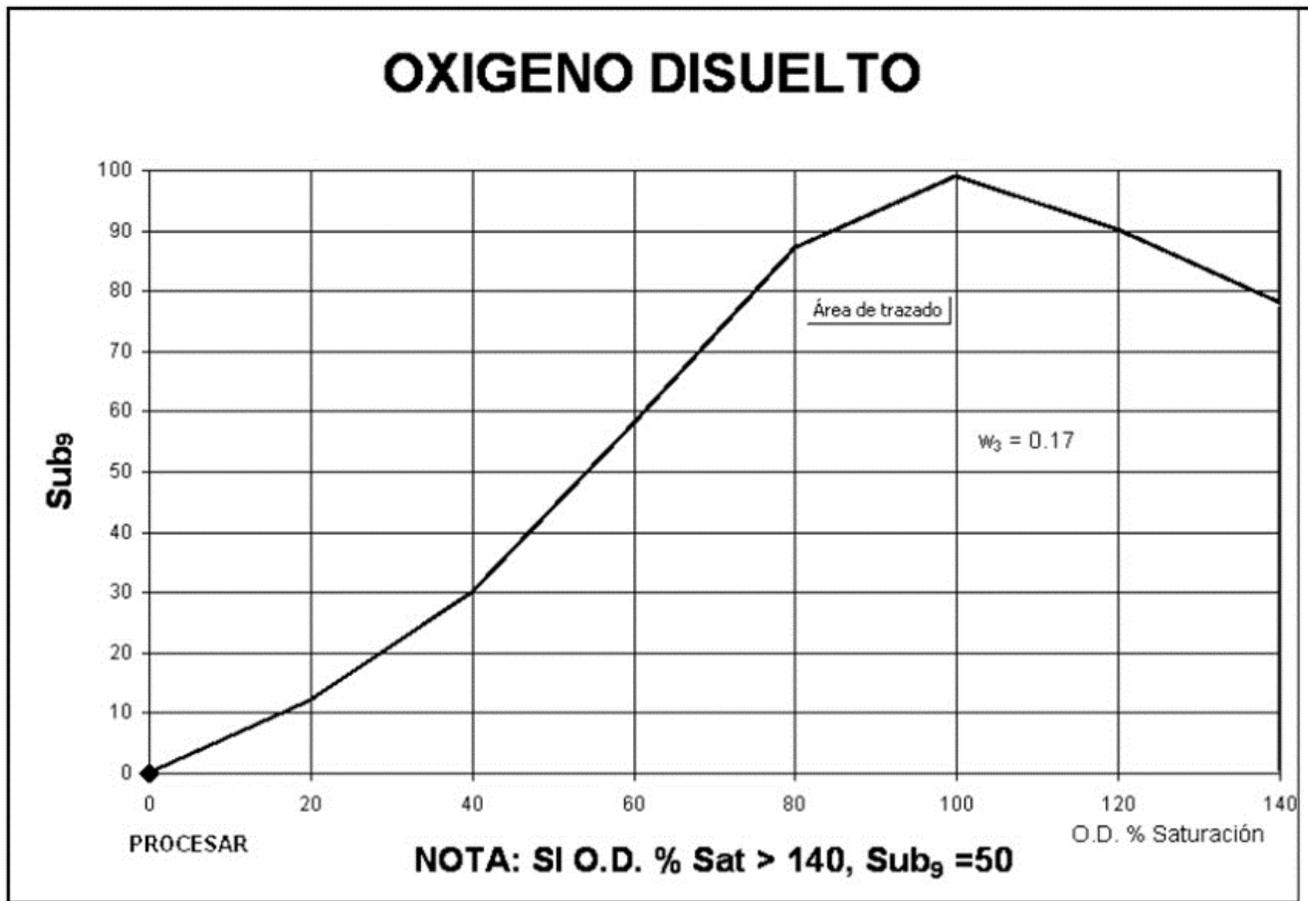


**Figura 9.** Curva de función de calidad NSF de cambio de temperatura.

Fuente: adaptado de SNET (2007).



**Figura 10.** Curva de función de calidad NSF de turbidez. Fuente: adaptado de SNET (2007).



**Figura 11.** Curva de función de calidad NSF de oxígeno disuelto.

Fuente: adaptado de SNET (2007).

## Determinación de subíndices de variables por el método de ecuaciones

Es un método más exacto que propusieron Ballesteros *et al.* (2004), y Jiménez y Vélez (2006), en donde, a través de tanteo e interpolaciones, pudieron obtener las ecuaciones que forman estas curvas de función, desarrolladas en una instancia por Brown. El procedimiento de cálculo de

cada parámetro en este método estuvo acompañado de las ecuaciones que se describen a continuación:

Coliformes fecales:

$$Subi_{CF} = e^{(4.5922 - 0.1063 \ln(CF) - 0.0152 [\ln(CF)]^2)} \quad (2)$$

Condición: si  $CF > 10^5 / 100 \text{ ML}$ ,  $Subi_{CF} = 3$

Donde:

$Subi_{CF}$  = Valor resultante de subíndice de la variable coliformes fecales

$CF$  = Valor promedio de coliformes fecales obtenido en los resultados del muestreo por triplicado

pH:

$$Subi_{pH} = e^{(-7.6434 pH + 18.5352 \frac{1}{pH} + 14.625 [\ln(pH)]^2)} \quad (3)$$

Condición: si  $pH < 2$  o  $pH > 12$  UND,  $Subi_{pH} = 3$

Donde:

$Subi_{pH}$  = valor resultante de subíndice de la variable potencial de hidrógeno

$pH$  = valor promedio de potencial de hidrógeno obtenido en los resultados del muestreo por triplicado

DBO<sub>5</sub>:

$$Subi_{DBO_5} = e^{(4.5824 - 0.1078DBO_5 + 2.4581 \times 10^{-14} e^{\frac{1}{DBO_5}})} \quad (4)$$

Condición: si  $DBO_5 > 30 \text{ mg/l}$ ,  $Subi_{DBO_5} = 2$

Donde:

$Subi_{DBO_5}$  = valor resultante de subíndice de la variable de demanda biológica de oxígeno a los cinco días

$DBO_5$  = valor promedio de demanda biológica de oxígeno obtenido en los resultados del muestreo por triplicado

Nitratos:

$$Subi_N = e^{(4.4706 - 0.043N + 2.8813 \times 10^{-5} N^2)} \quad (5)$$

Condición: si  $N > 100 \text{ mg/l}$ ,  $Subi_N = 1$

Donde:

$Subi_N$  = valor resultante del subíndice de la variable de nitratos

$N$  = valor promedio de nitratos obtenido en los resultados del muestreo por triplicado

Fosfatos:

$$Subi_{PO_4} = \frac{1}{0.0084 + 0.0143 PO_4 + 0.00074(PO_4)^2} \quad (6)$$

Condición: si  $PO_4 > 10$  mg/l,  $Subi_{PO_4} = 1$

Donde:

$Subi_{PO_4}$  = valor resultante del subíndice de la variable de fosfatos

$PO_4$  = valor promedio de fosfatos obtenido en los resultados del muestreo por triplicado

Cambio de temperatura:

$$Subi_T = 1.9619E - 06 (\Delta T)^6 - 1.3964E - 04 (\Delta T)^5 + 2.5908E - 03 (\Delta T)^4 + 1.5398E - 02 (\Delta T)^3 - 6.7952E - 01 (\Delta T)^2 - 6.7204E - 01 (\Delta T) + 9.0392E + 01 \quad (7)$$

Condición: si  $\Delta T < -5$   $Subi_T = \text{indef}$  o si  $\Delta T > 15$   $Subi_T = 9$

Donde:

$Subi_T$  = valor resultante del subíndice de la variable de cambio de temperatura

$\Delta T$  = valor promedio de cambio de temperatura obtenido en los resultados del muestreo por triplicado

Turbidez:

$$Subi_{Turb} = e^{(4.561 - 0.0196Turb + 4.167 \cdot 10^{-5}Turb^2)} \quad (8)$$

Condición: si  $Turb > 100$  UNT,  $Subi_{Turb} = 5$

Donde:

$Subi_{Turb}$  = valor resultante del subíndice de la variable de turbidez

$Turb$  = valor promedio de turbidez obtenido en los resultados del muestreo por triplicado

Sólidos totales disueltos:

$$Subi_{STD} = \frac{1}{0.0123 - 1.3545 * 10^{-5} STD + 9.265 * 10^{-8} STD^2} \quad (9)$$

Condición: Si  $STD > 500$  mg/l,  $Subi_{STD} = 32$

Donde:

$Subi_{OD}$  = valor resultante del subíndice de la variable de sólidos totales disueltos

$STD$  = valor promedio de sólidos totales disueltos obtenido en los resultados del muestreo por triplicado

Oxígeno disuelto:

$$Subi_{OD} = e^{(1.3663 + 0.063\% sat - 0.000303\% sat^2)} \quad (10)$$

Condición: Si  $\%Sat > 140$ ,  $Subi_{OD} = 50$

Donde:

$Subi_{OD}$  = valor resultante del subíndice de la variable de oxígeno disuelto.

$\%Sat$  = valor promedio de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto obtenido en los resultados del muestreo por triplicado.

## Determinación del ICA-NSF

La clasificación del agua se realizó mediante los valores determinados por la Tabla 5, teniendo en cuenta lo que alude SNET (2007), los cuerpos de agua con un "ICA" superior a 70 y que se encuentran entre "Excelente" y "Buena" contienen una gran diversidad de la vida acuática y esa agua sería adecuada para cualquier contacto directo con ella.

**Tabla 5.** Escala de clasificación del índice de calidad de agua según su uso.

Calidad de agua	Rango	Color
Excelente	91-100	
Buena	71-90	
Regular	51-70	
Mala	26-50	
Pésima	0-25	

Fuente: adaptado de SNET (2007).

Aquellas aguas que estén por el rango de "Regular", por lo general no contienen variedades de especímenes acuáticos y como consecuencia existe un aumento de algas.

Los cuerpos de agua con un índice de calidad "Mala" tienen menos variedad de vida acuática que el rango anterior y con frecuencia perciben problemas de contaminación.

Aguas con un rango de “Pésima” contribuyen un número escaso de tipos de vida acuática, presentan altos problemas de contaminación y no pueden ser adecuadas para cualquier contacto con ella. Con ello, se pudo determinar la suma ponderada del ICA-NSF por las dos metodologías de cálculo de subíndice de variable en cada punto y fecha muestreados.

Se hizo una comparación de cada ICA-NSF entre métodos empírico y exacto, a través del cálculo del error porcentual, a fin de evaluar la diferencia de resultados entre uno y otro; al final se obtuvo un promedio general por el método gráfico de verano-invierno, y de la misma forma un promedio por el método de ecuaciones verano-invierno.

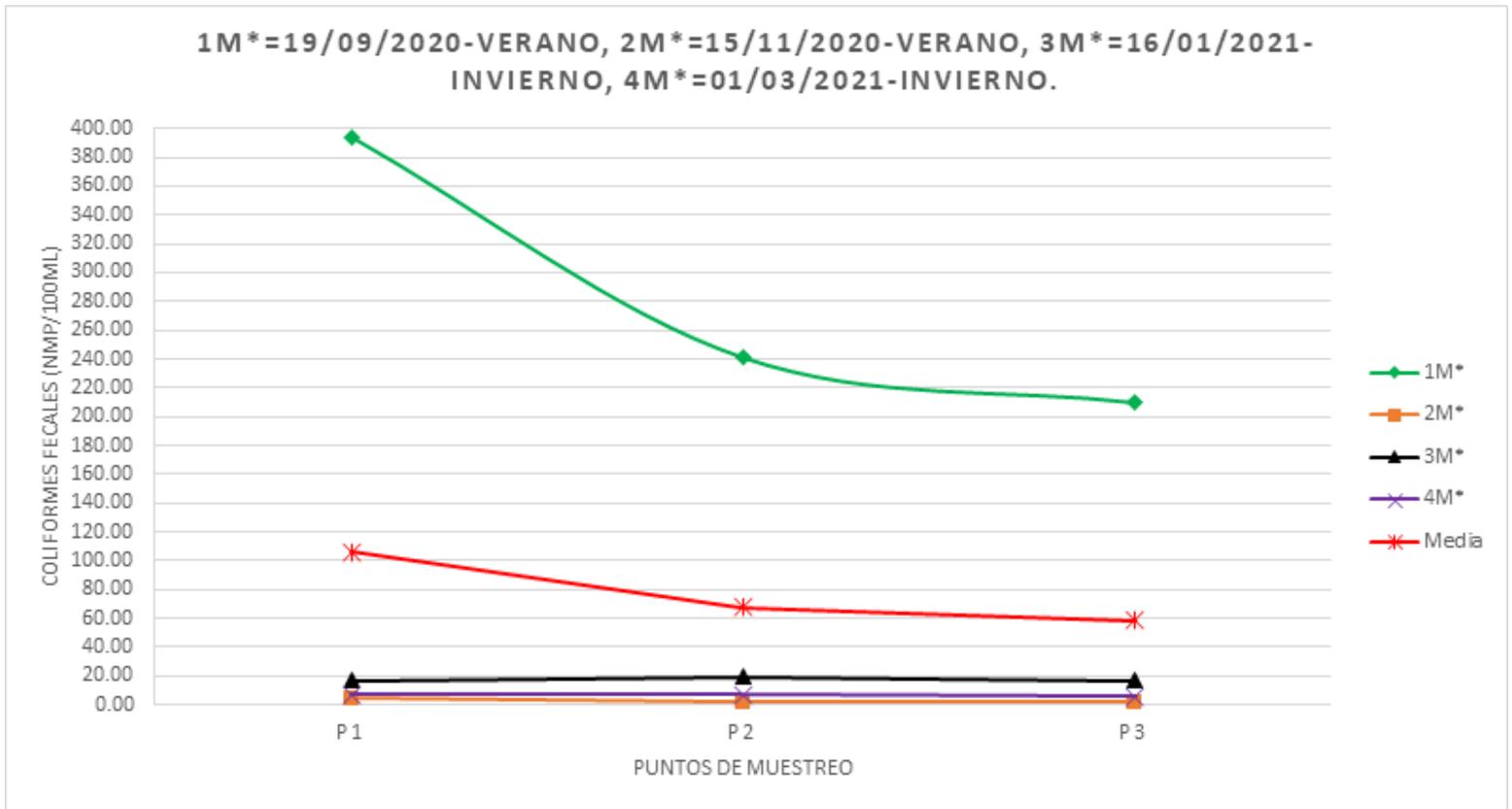
Además del ICA-NSF, se evaluaron los parámetros de temperatura, pH, turbidez, color aparente, dureza total, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, cloruros, nitritos, nitratos, sulfatos, cloro libre residual y coliformes fecales en la planta de tratamiento compacta que abastece de agua a la Parroquia Rural San Antonio del cantón Chone. Estos datos de ensayos por triplicado se procesaron mediante el valor medio y se compararon con las normas INEN 1108 2020 y 2006 para calidad de agua potable entre los periodos de tiempo evaluados, con el fin de demostrar si cada uno de los componentes de dicha planta cumple su función específica para tratar la calidad del agua que viene de la captación, analizada anteriormente con el ICA-NSF.

## Resultados y discusión

### Resultados y discusiones de los puntos de muestreo en relación con los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua de río

#### Coliformes fecales

La concentración de coliformes fecales para el presente estudio fluctuó entre 2 y 394.33 NMP/100 ml, con una media de 77.18 NMP/100 ml. Como se aprecia en la Figura 12, los mayores y menores valores de coliformes fecales tuvieron presencia en el primer y segundo muestreo de verano en los tres puntos, mientras que los valores de invierno se mantuvieron en un rango intermedio a éstos. Aun así, aunque se pudo tener presencia de coliformes fecales, los valores obtenidos no exceden el límite máximo permisible, que de acuerdo con la normativa del Ministerio del Ambiente del Ecuador, establecida en el Registro Oficial No. 387 del 4 de noviembre de 2015 para calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico es de 1000 NMP/100 ml; ello demuestra que existe una mínima contaminación de origen fecal en los sitios escogidos para el muestreo.

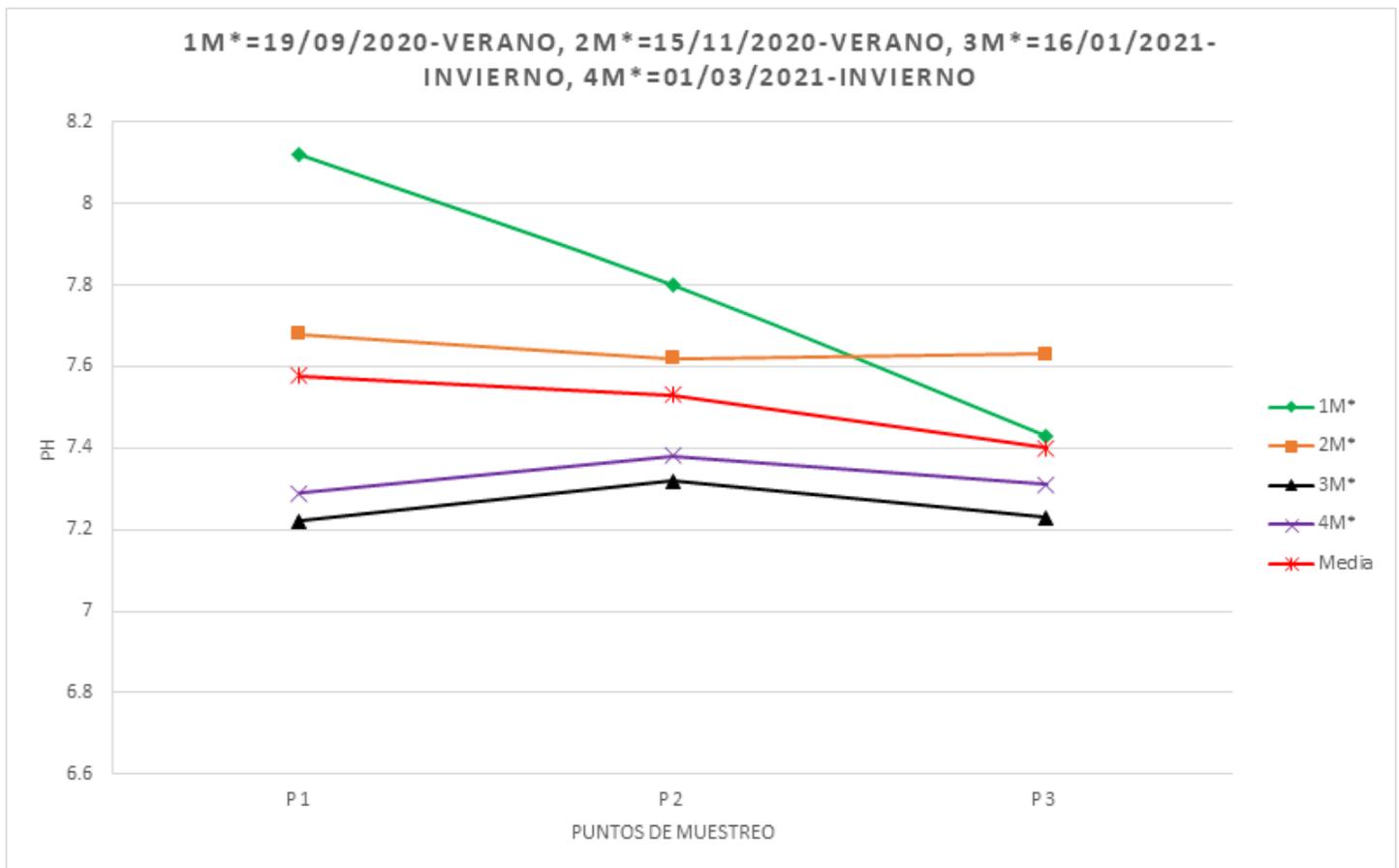


**Figura 12.** Evolución de concentración de coliformes fecales en el río Carrizal.

### Potencial de hidrógeno

Las tendencias de los valores de potencial de hidrógeno (pH) oscilaron entre neutro y ligeramente alcalino, con 7.22 unidades de pH en el punto uno del primer muestreo de invierno y 8.12 unidades de pH en el punto uno del primer muestreo de verano, con una media de 7.50 unidades de pH, según lo establece la Figura 13. Dichos valores cumplen en su totalidad en todos los puntos y meses analizados con la Normativa del Ministerio del Ambiente del Ecuador establecidas en el Registro Oficial No.

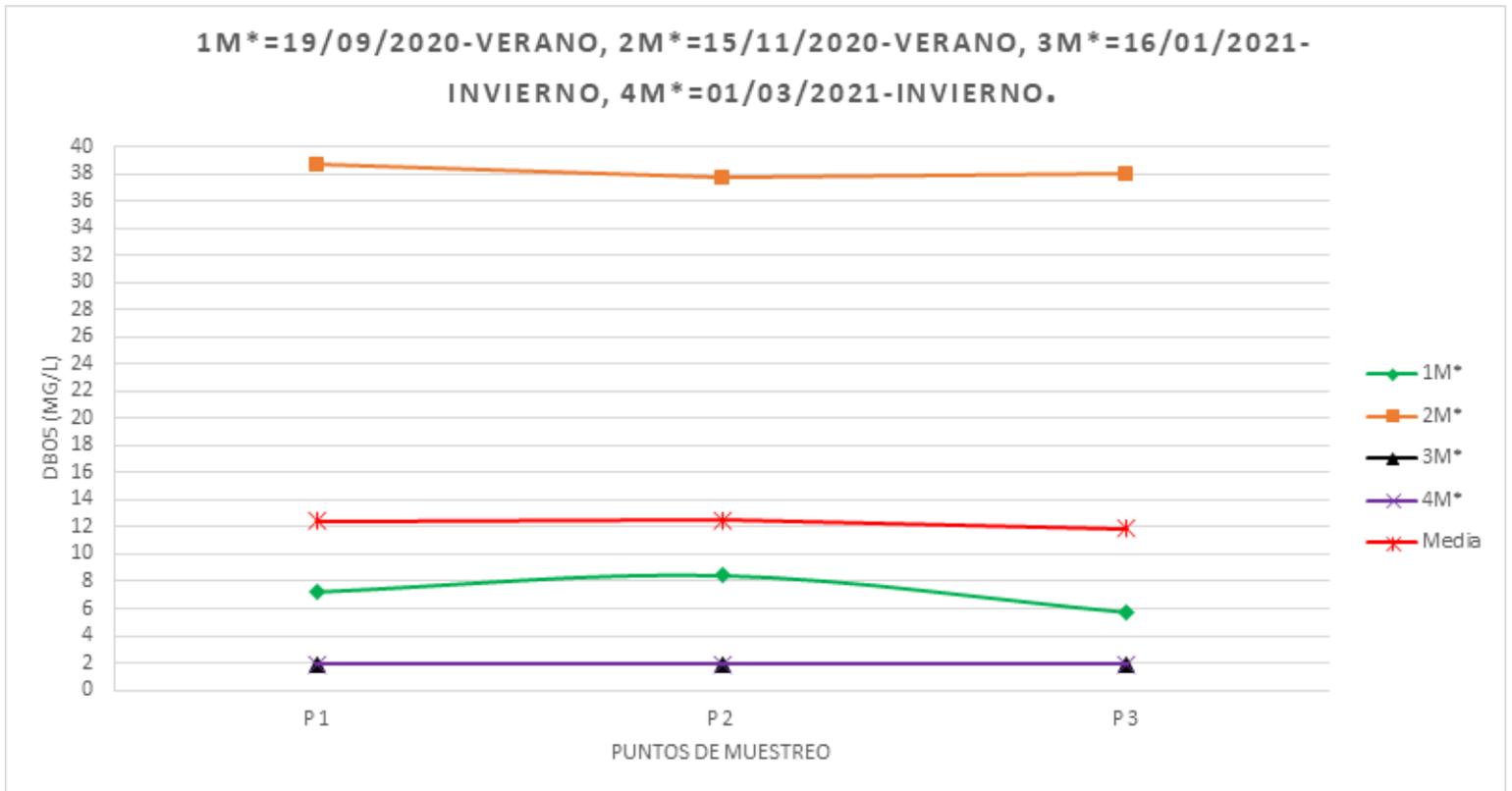
387 del 4 de noviembre de 2015 para calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, que establece un rango de 6 a 9 unidades de pH.



**Figura 13.** Evolución de concentración de pH en el río Carrizal.

## **Demanda bioquímica de oxígeno, DBO<sub>5</sub>**

Los valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en la presente investigación oscilaron como mínimo 1.9 mg/l en los dos muestreos de invierno en todos los puntos, mientras que en verano se obtuvo un incremento llegando al máximo de 38.67 mg/l en el punto uno del segundo muestreo de verano, y obteniendo una media entre todos los puntos y muestreos realizados de 12.26 mg/l, según la Figura 14. Estos valores en ambos muestreos de verano excedieron la Normativa del Ministerio del Ambiente del Ecuador establecidas en el Registro Oficial No. 387 del 4 de noviembre de 2015 para calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, que sostiene un límite máximo de DBO<sub>5</sub> < 2 mg/l, es decir, no fueron aptas para ser fuentes de consumo por su alto grado de demanda biológica de oxígeno, que demuestra la presencia de elevado contenido de materia orgánica, presumiblemente por descargas de aguas negras, lo cual concuerda con el contenido de coliformes fecales, bacterias prominentes presentes en este tipo de residuales; mientras, en invierno, los valores estuvieron dentro del límite permisible.

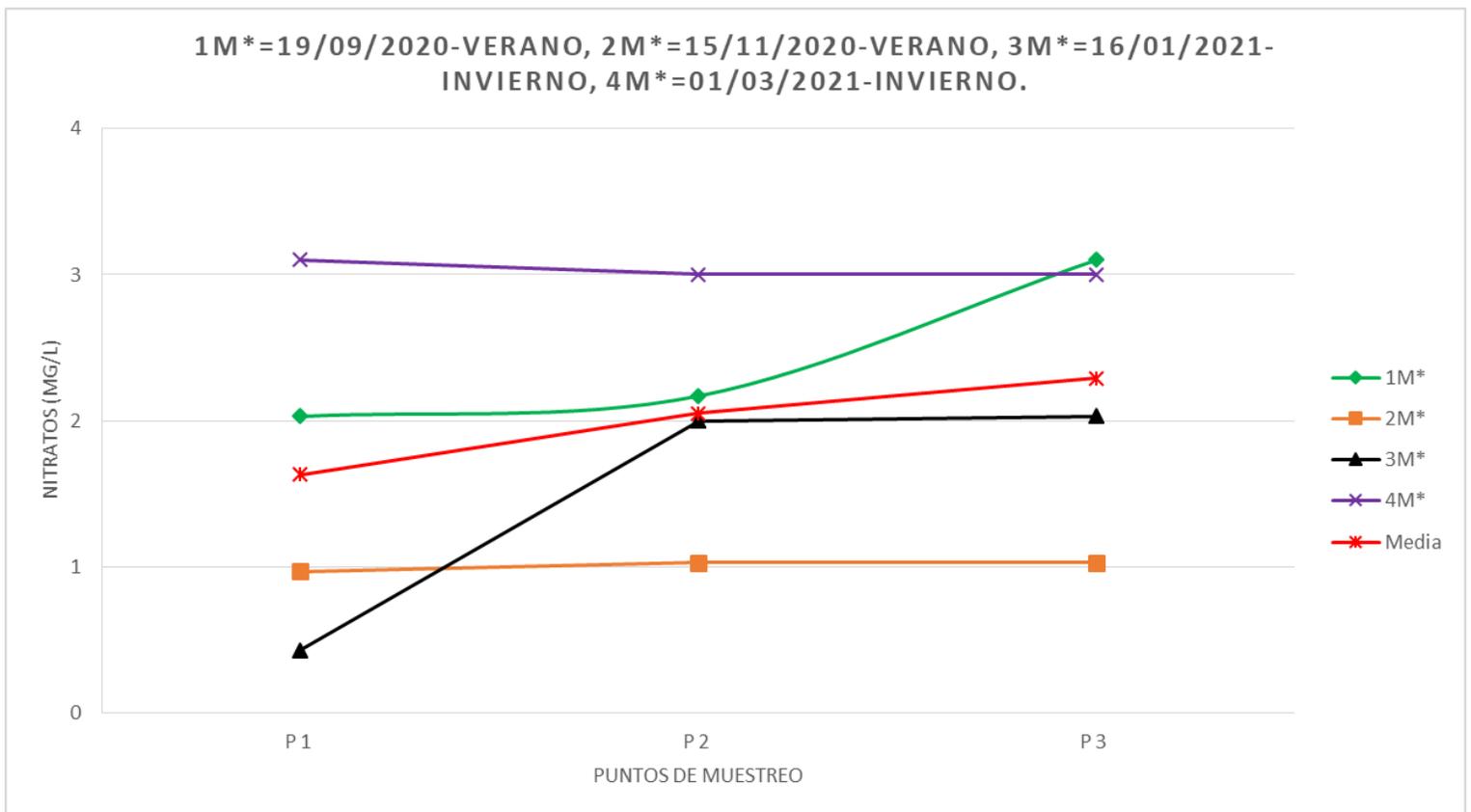


**Figura 14.** Evolución de concentración de DBO<sub>5</sub> en el río Carrizal.

## Nitratos

Dentro de la fuente de agua analizada y según la Figura 15, los valores de nitratos se encontraron entre 0.43 mg/l en el primer punto del primer muestreo de invierno y 3.1 mg/l en el primer punto del segundo muestreo de invierno; los demás valores de todos los puntos de verano se encontraron fluctuando entre ellos, aunque en el punto dos y tres de invierno se encontraron valores cercanos a 2 mg/l. Se obtuvo una media para este parámetro de 1.99 mg/l. Los resultados cumplieron a cabalidad con la Normativa del Ministerio del Ambiente del Ecuador establecidas en

el Registro Oficial No. 387 del 4 de noviembre de 2015 para calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, que propone un valor máximo de nitratos de 50 mg/l.

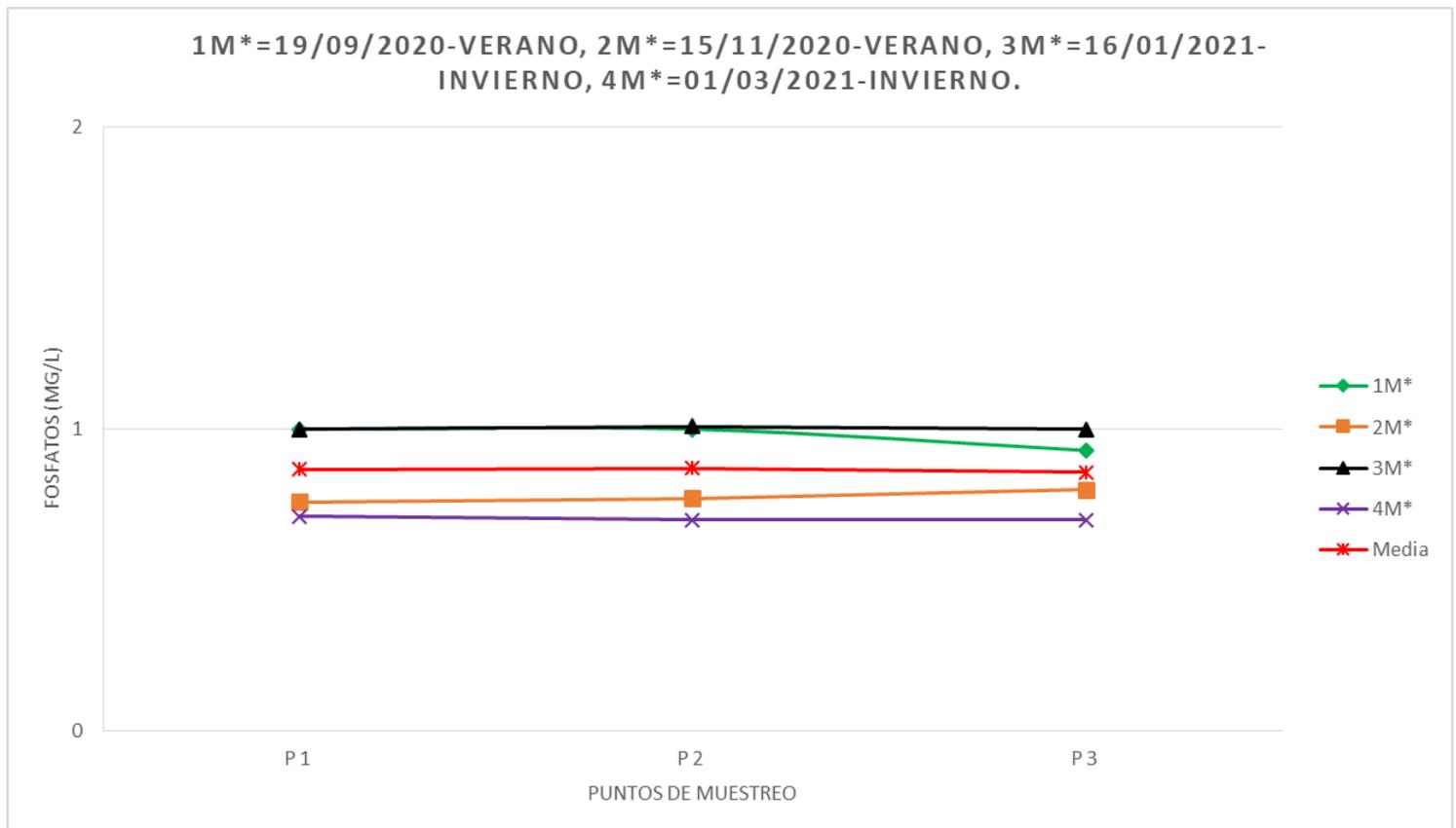


**Figura 15.** Evolución de concentración de nitratos en el río Carrizal.

## Fosfatos

La concentración de fosfatos que se obtuvo en el presente estudio lo tuvieron como mínimo los tres puntos del segundo muestreo de invierno, con valores entre 0.70 mg/l y como máximo todos los puntos de los

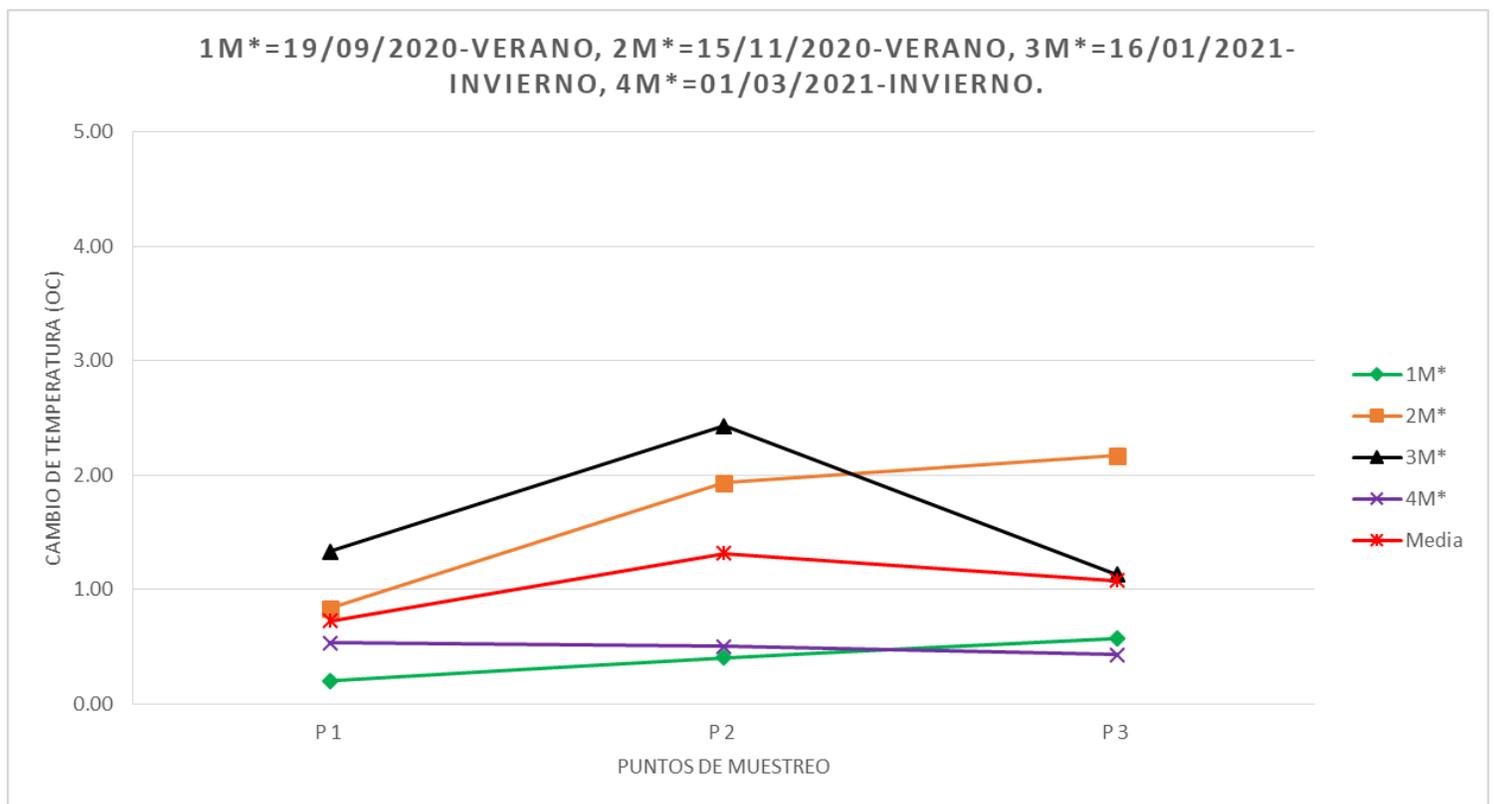
primeros muestreos de invierno y verano, respectivamente, con valores cercanos a 1 mg/l, resultando una media para todos los puntos y meses muestreados de 0.87 mg/l, tal cual lo establece la Figura 16. Con estos valores se puede determinar que existe una ligera contaminación en el sitio muestreado, que coincide con la actividad agropecuaria y agrícola de la zona, y es resultado de excretas de animales y vertidos de pesticidas al río. En la normativa ecuatoriana no existe un límite máximo para este parámetro.



**Figura 16.** Evolución de concentración de fosfatos en el río Carrizal.

## Cambio de temperatura

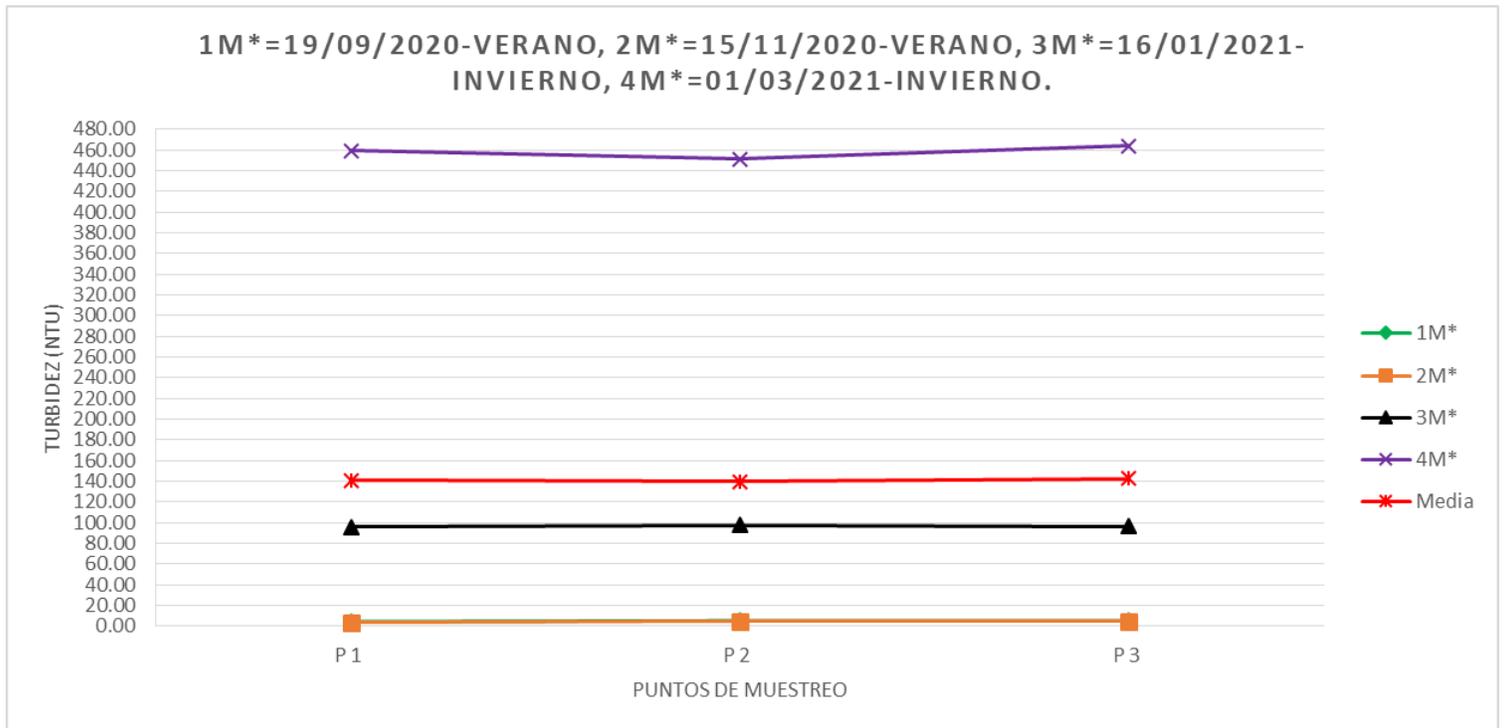
El cambio de temperatura —que fue calculado entre la temperatura ambiental y la de las muestras en los diferentes puntos— tuvo variaciones yendo desde los 0.2 °C en el punto uno del primer muestreo de verano hasta los 2.43 °C en el punto dos del primer muestreo de invierno, y arrojando una media de 1.04 °C, según la Figura 17. La normativa no establece rangos permisibles para este parámetro.



**Figura 17.** Evolución de cambio de temperatura en el río Carrizal.

## Turbidez

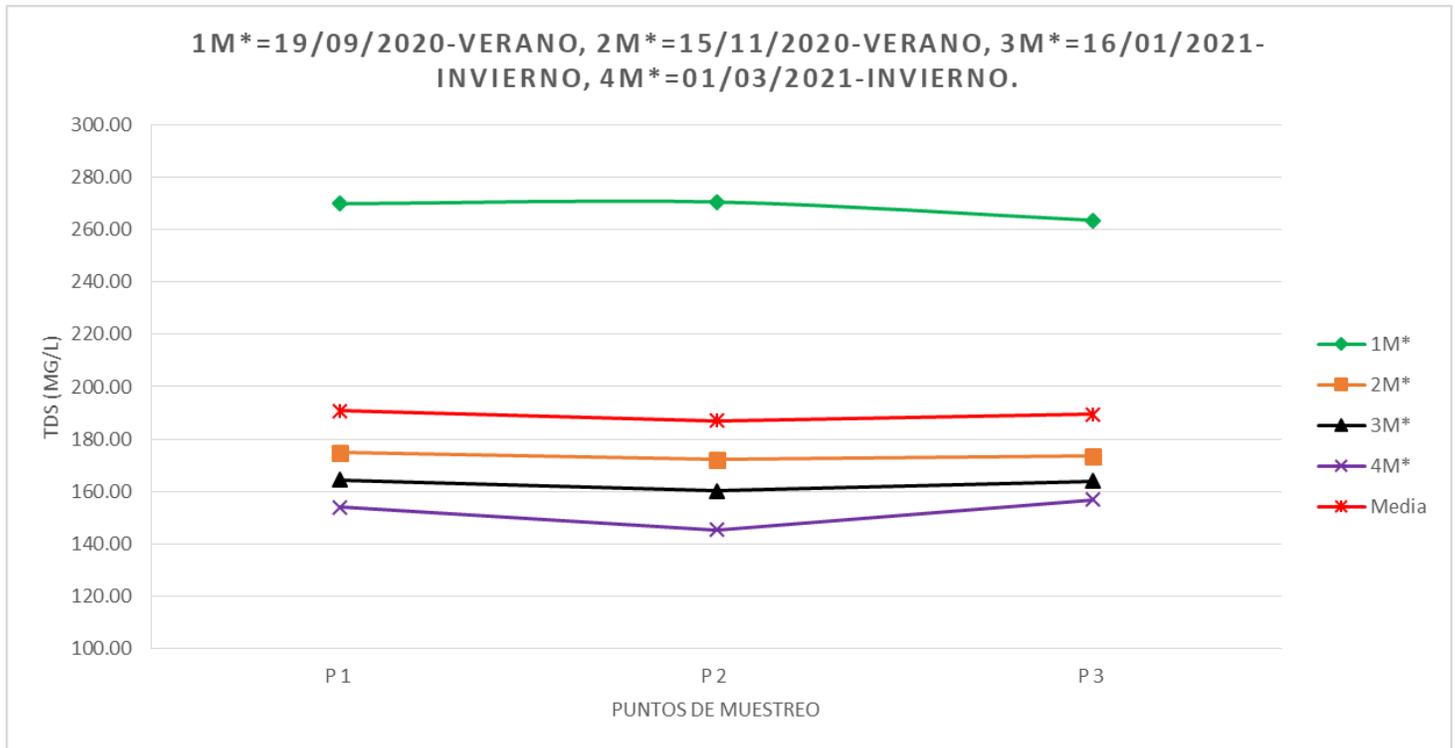
En los distintos muestreos realizados y tal cual lo establece la Figura 18, la turbidez fue el parámetro que más sufrió variaciones, especialmente entre la transición verano-invierno, obteniendo valores mínimos en el primer punto del segundo muestreo de verano en el punto tres de 3.24 NTU, mientras que los valores máximos estuvieron en el segundo muestreo de invierno rondando los 463.67 NTU, con una media de 140.89 NTU. Esto pudo variar debido a que la turbidez es producto de material coloidal formado por arcillas, limos, deforestación; básicamente es suelo que se pudo encontrar en más cantidad en el invierno por el efecto que causan las reiteradas lluvias dentro del cauce y laderas del río. En cuanto a la Normativa del Ministerio del Ambiente del Ecuador establecidas en el Registro Oficial No. 387 del 4 de noviembre de 2015 para calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, que plantea un límite máximo permisible de 100 NTU, la turbidez cumplió en los dos muestreos de verano y el primero de invierno, pues hasta ese momento no existieron muchas lluvias, lo que no sucedió con el segundo muestreo de invierno, que sobrepasó el límite.



**Figura 18.** Evolución de concentración de turbidez en el río Carrizal.

### Sólidos disueltos totales

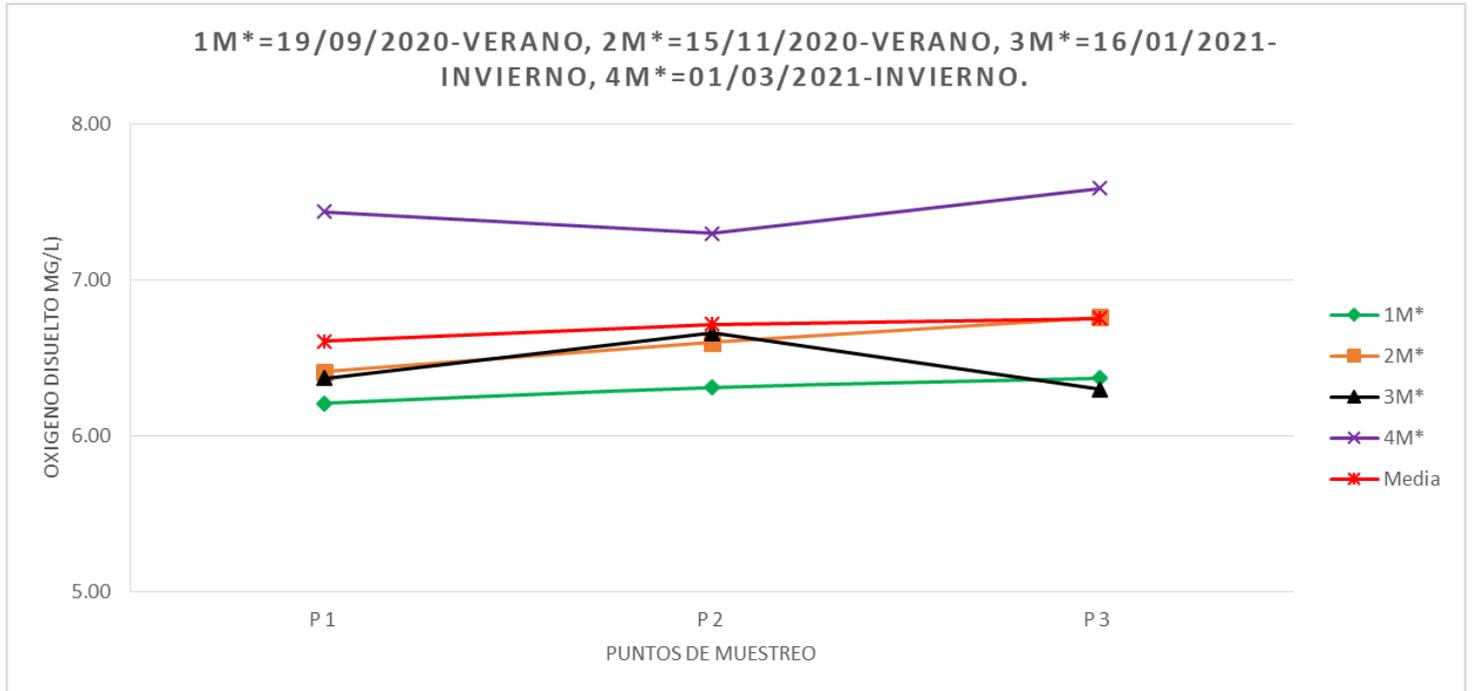
La cantidad de sólidos disueltos totales en las muestras sufrió variaciones que van desde 145.23 mg/l en el punto dos del segundo muestreo de invierno hasta 270.67 mg/l en el punto dos del primer muestreo de verano, con una media calculada de 189.14 mg/l, según lo establece la Figura 19. La Normativa del Ministerio del Ambiente del Ecuador establecidas en el Registro Oficial No. 387 del 4 de noviembre de 2015 para calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico no contempla este parámetro, sin embargo, pudo determinarse que los valores descienden de verano a invierno, lo cual indica que son más solubles en época de estiaje.



**Figura 19.** Evolución de concentración de sólidos disueltos totales en el río Carrizal.

### Oxígeno disuelto

Los ensayos realizados a las muestras, según la Figura 20, arrojaron valores de oxígeno disuelto en un rango de 6.21 mg/l en el primer punto del primer mes de verano y 7.59 mg/l en el punto tres del segundo muestreo de invierno, obteniendo una media de 6.69 mg/l. El límite mínimo permisible en la normativa ecuatoriana ambiental vigente de 2002 es no menor a 6 mg/l, por lo que todos los puntos y meses se encuentran en un valor óptimo de OD.



**Figura 20.** Evolución de concentración de oxígeno disuelto en el río Carrizal.

La obtención de resultados de los parámetros muestreados en el agua de río, analizado bajo las gráficas anteriores, permitieron el cálculo del índice de calidad de agua (ICA-NSF) en las distintas épocas del año, distintos puntos de muestreo y por los métodos de obtención de subíndice *i* tanto gráfico como de ecuaciones.

La Tabla 6 muestra un resumen de cálculo de dicho índice basado en la suma ponderada que corresponde a la parte final de su obtención, perteneciente al primer muestreo de verano realizado en el mes de septiembre de 2020. Como es posible observar, la mayoría de valores de

ambos métodos se encuentran por debajo de 71, por lo que se le caracteriza como un agua "Regular", dado que su promedio por el método gráfico es de 69.64 y por el de ecuaciones 68.32.

**Tabla 6.** Resumen de cálculo del ICA-NSF en el primer muestreo de verano.

Parámetro	Verano 1 (19-09-2020)					
	Método gráfico			Método de ecuaciones		
	<i>Si*Wi</i> gráfico Punto 1	<i>Si*Wi</i> gráfico Punto 2	<i>Si*Wi</i> gráfico Punto 3	<i>Si*Wi</i> fórmula Punto 1	<i>Si*Wi</i> fórmula Punto 2	<i>Si*Wi</i> fórmula Punto 3
Coliformes fecales	4.50	5.55	5.74	4.56	5.23	5.43
pH	9.64	10.64	11.08	9.45	10.44	11.10
DBO <sub>5</sub>	4.60	4.22	5.32	4.48	3.94	5.27
Nitratos	8.80	8.63	8.36	8.01	7.96	7.65
Fosfatos	4.02	4.00	4.63	4.28	4.27	4.48
Cambio de temperatura	9.20	9.06	8.90	8.20	8.47	8.64
Turbidez	7.08	7.05	6.96	7.04	6.91	6.91
Sólidos disueltos totales	5.13	5.19	5.18	5.20	5.19	5.27
Oxígeno disuelto	15.06	15.14	15.25	15.27	15.59	15.70
Resultado ICA-NSF	68.03	69.47	71.41	66.49	68.01	70.46
<b>Promedio</b>	<b>69.64</b>			<b>68.32</b>		

Con base en la Tabla 7, el segundo muestreo de verano ocurrido en noviembre de 2020 tuvo ligeros aumentos de calidad para el ICA-NSF,

siendo todos sus valores superiores a 71, por lo que su calidad se mantiene como “Buena” en todos los puntos y métodos de cálculo, siendo su promedio por el método gráfico de 75.40 y por el de ecuaciones 75.72.

**Tabla 7.** Resumen de cálculo del ICA-NSF en el segundo muestreo de verano.

Parámetro	Verano 2 (15-11-2020)					
	Método gráfico			Método de ecuaciones		
	<i>Si*Wi</i> gráfico Punto 1	<i>Si*Wi</i> gráfico Punto 2	<i>Si*Wi</i> gráfico Punto 3	<i>Si*Wi</i> fórmula Punto 1	<i>Si*Wi</i> fórmula Punto 2	<i>Si*Wi</i> fórmula Punto 3
Coliformes fecales	12.27	13.58	13.58	12.26	13.65	13.65
pH	10.84	11.00	10.99	10.74	10.85	10.82
DBO <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Nitratos	9.33	9.30	9.27	8.39	8.36	8.36
Fosfatos	5.07	5.06	4.89	5.06	5.05	4.92
Cambio de temperatura	8.75	7.82	7.70	8.81	9.03	9.03
Turbidez	7.31	7.19	7.17	7.18	6.99	6.98
Sólidos disueltos totales	6.08	6.13	6.10	6.27	6.29	6.28
Oxígeno disuelto	15.33	15.41	15.43	15.77	15.87	15.93
Resultado ICA-NSF	75.18	75.70	75.32	74.68	76.30	76.19
<b>Promedio</b>	<b>75.40</b>			<b>75.72</b>		

En lo que respecta al primer muestreo de invierno acontecido en el mes de enero 2021, sus valores de ICA-NSF, representados en la Tabla

8, se siguen manteniendo en una calidad “BUENA”, arrojando resultados parecidos tanto para el método gráfico de 73.36, como para el método de ecuaciones de 73.78.

**Tabla 8.** Resumen de cálculo del ICA-NSF en el primer muestreo de invierno.

Parámetro	Invierno 1 (16-01-2021)					
	Método gráfico			Método de ecuaciones		
	Si*Wi gráfico Punto 1	Si*Wi gráfico Punto 2	Si*Wi gráfico Punto 3	Si*Wi fórmula Punto 1	Si*Wi fórmula Punto 2	Si*Wi fórmula Punto 3
	Coliformes fecales	9.90	9.72	9.90	9.70	9.49
pH	11.02	11.11	11.02	11.20	11.18	11.20
DBO <sub>5</sub>	8.19	8.19	8.19	7.96	7.96	7.96
Nitratos	8.83	8.90	9.50	8.01	8.02	8.58
Fosfatos	3.98	3.98	3.99	4.26	4.25	4.26
Cambio de temperatura	8.53	7.36	8.27	8.95	9.04	9.00
Turbidez	1.48	1.45	1.50	1.45	1.43	1.46
Sólidos disueltos totales	6.17	6.24	6.16	6.37	6.40	6.36
Oxígeno disuelto	15.34	15.70	15.46	15.58	15.89	15.68
Resultado ICA-NSF	73.45	72.65	73.98	73.48	73.65	74.19
<b>Promedio</b>	<b>73.36</b>			<b>73.78</b>		

La Tabla 9 muestra el resumen de cálculo del ICA-NSF en el segundo muestreo de invierno realizado en marzo de 2021; arroja los mejores

resultados de calidad de todo el estudio, encasillándola como un agua “Buena” y obteniendo valores de índice de 76.22 por el método gráfico y 75.79 por el método de ecuaciones.

**Tabla 9.** Resumen de cálculo del ICA-NSF en el segundo muestreo de invierno.

Parámetro	Invierno 2 (01-03-2021)					
	Método gráfico			Método de ecuaciones		
	<i>Si*Wi</i> gráfico Punto 1	<i>Si*Wi</i> gráfico Punto 2	<i>Si*Wi</i> gráfico Punto 3	<i>Si*Wi</i> fórmula Punto 1	<i>Si*Wi</i> fórmula Punto 2	<i>Si*Wi</i> fórmula Punto 3
Coliformes fecales	11.40	11.40	11.93	11.31	11.31	11.85
pH	11.07	11.05	11.11	11.19	11.15	11.18
DBO <sub>5</sub>	8.19	8.19	8.19	7.96	7.96	7.96
Nitratos	8.35	8.50	8.50	7.65	7.69	7.69
Fosfatos	5.36	5.42	5.42	5.27	5.33	5.33
Cambio de temperatura	8.94	8.95	9.05	8.61	8.58	8.51
Turbidez	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Sólidos disueltos totales	6.27	6.33	6.26	6.45	6.51	6.42
Oxígeno disuelto	15.85	15.83	15.91	16.73	16.69	16.81
Resultado ICA-NSF	75.84	76.06	76.76	75.58	75.62	76.16
<b>Promedio</b>	<b>76.22</b>			<b>75.79</b>		

El resumen promedio de los resultados del ICA-NSF en los puntos de muestreo del sitio de captación del río Carrizal se ven reflejados en la

Tabla 10. Aquellos valores que fueron calculados por las dos metodologías de obtención de subíndice  $i$  en época de estiaje, comprendida por los meses de septiembre y noviembre de 2020, arrojaron un valor promedio de 72.52 por el método gráfico y 72.02 por el método de ecuaciones, con un porcentaje de error del 0.69 %, lo que la encasilla en una calidad de agua "Buena". Para esta clasificación, se establece que este tipo de agua necesita tratamiento, puede contener ciertos tipos de vida acuática y, a la vez, se pueden practicar ciertos tipos de recreación (SNET, 2007). Asimismo, el mismo rango de agua "Buena" se dio en época invernal durante enero y marzo de 2021 debido a que sus resultados promedios por el método gráfico fueron de 74.79 y por el método de ecuaciones 74.78, con un porcentaje de error del 0.01 %, valores de ICA un poco más elevados que en verano.

**Tabla 10.** Resumen de cálculo del ICA-NSF promedio por época del año.

Núm.	Época del año	Fecha de muestreo	Resultados ICA-NSF, método gráfico	Resultados ICA-NSF, método ecuaciones	Calidad según ICA-NSF	% error
1	Verano	19/09/2020	69.64	68.32	Regular	1.90
2	Verano	15/11/2020	75.40	75.72	Buena	0.42
Promedio verano			72.52	72.02	Buena	0.69
3	Invierno	16/01/2021	73.36	73.78	Buena	0.57
4	Invierno	01/03/2021	76.22	75.79	Buena	0.56
Promedio invierno			74.79	74.78	Buena	0.01

De acuerdo con Armas (2016), el aumento del parámetro de turbidez que se vincula con épocas de lluvias y caudales altos provoca el arrastre de material de suelo. Con base en este criterio, el río Carrizal aumentó su calidad en cierta medida en invierno debido a que en esta temporada el único problema que aconteció a las aguas fue la turbidez, sobre todo en los ríos que van desazolvando suelo principalmente; no existe presencia de contaminantes de ningún tipo pues las lluvias traen abundante agua con velocidades altas que son suficientemente capaces de removerlos, más cuando son intensas y tienen duraciones de varios días. Como consecuencia de esta elevación de turbidez en invierno y en relación con Quiroz, Izquierdo y Menéndez (2018), que sostienen que la calidad del agua de un río va disminuyendo a lo largo de su trayectoria en bajas velocidades debido a que la corriente aumenta su capacidad de asimilación de carga contaminante y reduce su restitución de calidad de forma natural, en época de verano, el río Carrizal, al poseer solamente el aporte de la represa "La Esperanza" y tener baja velocidad, cuenta con el tiempo suficiente para ir absorbiendo, retrayendo y concentrando los contaminantes, y todo lo que encuentre a su paso, motivo por el cual se presentó como elevado el parámetro  $DBO_5$ ; se pudo determinar que ambos parámetros son de sumo interés dentro de la calidad del agua, sin embargo, el peso ponderado del ICA-NSF no les atribuye un grado de importancia elevado en la contaminación del curso de agua y por este efecto, su respectivo cálculo, a pesar de que no cumple la normativa en estos parámetros, se obtiene como una calidad promedio de "Buena".

Son varias las investigaciones que han aplicado la metodología del ICA-NSF tanto internacional como nacional y localmente, y han

demostrado la importancia en la caracterización y clasificación del agua con base en diferentes criterios. Los estudios más relevantes incluyen países como Perú, en donde se aplicó el índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros-Tingo María. Las muestras se recolectaron en cuatro estaciones establecidas en el curso de agua, para posteriormente procesar los datos con el ICA. El resultado fue de 62, que se caracterizó con una calidad "Media", la cual estuvo influenciada principalmente por los nitratos y fosfatos, pero también por parámetros bacteriológicos, como coliformes fecales, que sobrepasan los ICA del agua, por lo que se llegó a la conclusión de que el agua se vio afectada durante el periodo de estiaje por el aporte de aguas contaminadas, uso de fertilizantes en áreas cercanas, actividades de pastoreo de ganado e instalación de letrinas, lo que afectó la conservación del ambiente acuático y su aprovechamiento. Las causas de tal contaminación se originan en los campos de cultivo de piña y la ganadería existente en el entorno; tales actividades repercuten en el incremento de esos valores (Pérez & Álvarez, 2018).

A nivel nacional, en Ecuador, provincia de Chimborazo, los estudios de evaluación de la calidad del agua del río Chambo en época de estiaje utilizando el ICA-NSF demostraron que el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua del río un kilómetro antes de las descargas de agua residual determina que el agua del río llega del área de estudio con índices de contaminación. Los resultados de coliformes fecales en 1193.33 UFC/ml permiten interpretar que se trataría de agua residual doméstica. De esta manera, la ponderación del método ICA-NSF en el punto de muestreo 1 antes de las descargas de agua residual determina que el

agua es de “Mala calidad”, con un índice de 48.60 reduciéndose a 42.20 en el punto de muestreo cinco una vez que el río receipta el agua residual del cantón Chambo. Esto genera un impacto ambiental de gran tamaño a la población aledaña a la zona de estudio, que utiliza esas aguas para el riego de cultivos (Freire-Rosero, Pino-Vallejo, Andrade, & López, 2020).

Dentro del río Carrizal también existen análisis de índice de calidad NSF en su microcuenca, como es el caso de Lucas-Vidal y Carreño-Mendoza (2018), quienes expresan que su estudio desarrollado en el cantón Bolívar, específicamente en las localidades de Julián, Balsa en Medio y Severino, dio como resultado que el agua de los dos primeros sitios está “Poco contaminada”, mientras que el último punto evaluado se encuentra “Contaminado”, esto se debió a que las variables que tuvieron mayor impacto en la reducción de la calidad del agua fueron el oxígeno disuelto y la temperatura, que alcanzaron una baja ponderación en todas las localidades. En el caso particular de la localidad de Severino, las variables DBO<sub>5</sub>, fosfatos, sólidos totales y turbidez recibieron las menores ponderaciones; mientras que en la localidad de Balsa en Medio, las menores ponderaciones se obtuvieron en coliformes fecales y potencial de hidrógeno.

Mediante este análisis se puede determinar que la gran mayoría de investigaciones que existen utilizan el ICA-NSF como un indicador de calidad de agua de río debido a la exactitud que tiene para ese fin, pero en el caso de aguas que son utilizadas para captación y posterior potabilización, no establecen en sus estudios si el ICA-NSF puede convertirse en un indicador de efectividad al momento de que esa agua de río es potabilizada, es decir, si el proceso de tratamiento es el

adecuado para la calidad de agua que ingresa en los sitios de captación y que luego es distribuida a la colectividad. Aquello puede ser esencial en la disminución de enfermedades sanitarias graves existentes en todo el mundo.

## **Resultados y discusiones de los puntos de muestreo en relación con los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua potable**

Como puede observarse en la Tabla 11, la mayoría de valores resultantes del muestreo en el agua potable tratada por la planta San Antonio del cantón Chone están dentro de los rangos establecidos por la Norma INEN 1108 del año 2020, a excepción del cloro libre residual, que en el primer muestreo de invierno muestra ausencia de este parámetro, lo que indica que el agua en ese periodo fue distribuida sin desinfección alguna a la Parroquia. Además de esta norma, se compararon los valores con la INEN 1108 del año 2006, por contener rangos para alguno de los parámetros que no los posee la INEN 1108 2020, como dureza total, sólidos disueltos totales, cloruros y sulfatos; sin embargo, los valores estuvieron dentro de los límites permitidos, siendo el único problema también la nula desinfección de enero de 2021. Esto se dio principalmente debido a que el operador de la planta modular no cuenta con una tabla dosificadora de cloro para los tanques de almacenamiento y lo realiza de manera empírica.

**Tabla 11.** Resultados de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua potable.

Núm.	Parámetro	Unidad	sep-20	nov-20	ene-21	mar-21	Norma INEN 1108 2020	Norma INEN 1108 2006
			Valor medio	Valor medio	Valor medio	Valor medio		
1	Temperatura	°C	27.37	28.53	27.63	29.53	-	-
2	pH	unidades de pH	7.53	7.55	7.57	7.36	6.5 a 8	6.5 a 8
3	Turbidez	NTU	0.40	0.22	1.27	4.61	5	5
4	Color aparente	U. Pt-Co	2.17	1.00	7.47	6.27	15	15
5	Dureza total	mg/l	190.00	146.00	130.00	126.00	-	300
6	Conductividad eléctrica	µS/cm	597.33	348.33	374.00	363.67	-	-
7	Sólidos disueltos totales	mg/L	286.67	172.00	158.77	145.57	-	1 000
8	Cloruros	mg/l	78.97	44.63	41.20	36.20	-	250
9	Nitritos	mg/l	0.01	0.00	0.00	0.00	3	0
10	Nitratos	mg/l	1.37	2.80	2.77	3.00	50	10
11	Sulfatos	mg/l	56.67	31.67	30.00	28.00	-	200
12	Cloro libre residual	mg/l	0.75	1.50	0.00	0.75	0.3 a 1.5	0.3 a 1.5
13	Coliformes fecales	NMP/100 ml	0.00	0.00	0.90	0.00	Ausencia	< 2

Teniendo en cuenta a Solsona y Méndez (2002), la desinfección necesita considerarse como un proceso clave en cualquier sistema de tratamiento de agua. Cuando se diseña una planta de tratamiento, en

especial en un área rural, la desinfección no debe considerarse como un proceso más, sino como parte esencial del sistema, debido a que muchas veces, en áreas rurales se opta por entregar producción de agua-cantidad, en lugar de seguridad de la misma-calidad. En lo que respecta a la desinfección con cloro libre residual, los mismos autores comentan que en relación con los datos de mortalidad por cáncer debido a una ingesta de agua con mucho cloro ante el riesgo de morir por alguna enfermedad de transmisión hídrica asociada con un agua sin desinfección, como diarrea, hepatitis infecciosa, tifoidea, cólera, etcétera, es de 1 en 1 000.

## Conclusiones

La calidad de agua de esta área fue caracterizada con la implementación de una red de muestreo en la captación del río Carrizal a través de tres sitios escogidos estratégicamente para su desarrollo: 100 metros aguas abajo, 100 metros aguas arribas y un punto de captación Bachillero Santa Martha, que es donde el agua es impulsada hacia la planta de tratamiento a través de un sistema de bombeo. Estos puntos fueron monitoreados en dos meses de temporada seca: septiembre y noviembre de 2020, así como en dos meses de temporada lluviosa: enero y marzo de 2021.

Con la metodología usada en este estudio fue posible obtener el cálculo del ICA-NSF y su posterior análisis de resultados, mismos que demostraron que en temporada seca, el ICA-NSF del sitio en estudio obtuvo un valor promedio de 72.52 por el método gráfico y 72.02 por el método de ecuaciones, con un porcentaje de error de 0.69 %, que lo califica como un agua de calidad "Buena" y, a la vez, los resultados en

invierno fueron de 74.79 por el método gráfico y 74.78 por el método de ecuaciones, con porcentaje de error de 0.01 %, un ICA-NSF, asimismo, con calidad de agua “Buena” y mayor a la de estiaje debido principalmente a que el único valor que se elevó en invierno fue la turbidez.

De igual manera, se pudo comprobar la calidad de agua potable entregada a la parroquia rural de San Antonio del cantón Chone luego de su proceso de potabilización en la planta de tratamiento modular convencional en las dos temporadas y se pudo evidenciar que la mayoría de parámetros se encuentran dentro de la norma INEN 1108 a excepción del cloro libre residual, que en enero de 2021 registró 0 mg/l.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, fue posible evidenciar la efectividad en el proceso de potabilización del agua que llega de la captación del río Carrizal para las fechas analizadas, pero, a su vez, se hace necesaria la recomendación al gobierno autónomo descentralizado del cantón Chone sobre la implementación de un presedimentador en la planta de tratamiento, que ayude a disminuir los niveles de turbidez, debido a que este valor monitoreado a lo largo del cuerpo de agua se incrementó en el invierno en un 98.93 % con relación al verano. Esto puede ocasionar la no potabilización del agua en inviernos agresivos posteriores, que no fue el caso del analizado. De igual manera, se sugiere instalar un sistema de desinfección eficiente a través de dosificaciones controladas empleando tecnología moderna y controlando la concentración de cloro libre residual con la que se distribuye el líquido vital a la parroquia.

## Referencias

- Arcos, M. D. P., Ávila, S. L., Estupiñan, S. M., & Gómez, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69-79.
- Armas, A. (2016). La situación actual y los problemas existentes y previsibles. En: *El libro blanco del agua* (pp. 75-195). España: Ministerio de Medio Ambiente: Recuperado de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/spa192539.pdf>
- Arroyo, C., & Encalada, A. C. (2009). Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 1(1). DOI: 10.18272/aci.v1i1.4
- Ballesteros, Y., Cruz, C., Barba, H. L., García, J., Ramírez, C., Holguín, J., & Patiño, P. (2004). *Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios, mediante aplicación de índices de calidad y contaminación tramo Salvajina-La Virginia X*. Recuperado de [https://ecopedia.cvc.gov.co/sites/default/files/archivosAdjuntos/informe\\_ejecutivo\\_proyecto\\_modelacion\\_del\\_rio\\_cauca\\_cvc-univalle\\_0.pdf](https://ecopedia.cvc.gov.co/sites/default/files/archivosAdjuntos/informe_ejecutivo_proyecto_modelacion_del_rio_cauca_cvc-univalle_0.pdf)
- Barahona, M. C., & Tapia, R. S. (2011). *Calidad y tratabilidad de aguas provenientes de ríos de llanura y embalses eutrofizados, caso de estudio: Carrizal-Chone* (Tesis de grado académico). Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2630>

- Barceló, D., & Carrera, J. (2008). *Consideraciones generales sobre recursos hídricos, calidad y tratamiento del agua en España. Aguas continentales, gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua*. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Bofill-Mas, S., Clemente-Casares, P., Albiñana-Giménez, N., Maluquer-de-Motes-Porta, C., Hundesa-Gonfa, A., & Girones-Llop, R. (2016). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista Española de Salud Pública*, 79, 253-269.
- Brown, R., Macclelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). A water quality index do we dare? *Water and Sewage Works*. 117 (10), 1-5.
- Castañé, P. M., Loez, C. R., Olguín, H. F., Puig, A., Rovedatti, M. G., Topalián, M. L., & Salibián, A. (1998). Caracterización y variación espacial de parámetros fisicoquímicos y del plancton en un río urbano contaminado (río Reconquista, Argentina). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 14(2), 69-77.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124.
- Chang, J. (2010). *Calidad de agua*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Da Ros, G. (1995). *La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica*. Editorial Abya Yala. Cuenca, Ecuador.

- Eaton, A., Rice, E., & Rodger, B. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington, DC, USA: American Public Health Association.
- Freire-Rosero, R. D. P., Pino-Vallejo, M., Andrade, P., & López, A. M. (2020). *Evaluación de la calidad del agua del río Chambo en época de estiaje utilizando el índice de calidad del agua ICA-NSF*. 1(23), 54-60. DOI: 10.47187/perf.v1i23.248
- GADCHONE. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Chone*. Recuperado de <https://www.chone.gob.ec/pdf/lotaip2/documentos/pdot.pdf>
- GADSanAntonio. (2019). *Parroquia Rural San Antonio*. Recuperado de [sanantoniodelpeludo.gob.ec/manabi/?p=108](http://sanantoniodelpeludo.gob.ec/manabi/?p=108)
- Jacobsen, D. (2003). *Los ríos de la Sierra ecuatoriana son más sensibles a la contaminación*. 1 (1), 1-5.
- Jiménez, M. A., & Vélez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en Recursos Hidráulicos*, (14), 53-69.
- Lekshmiprasad, S., & Mophin, K. (2017). Water quality assessment of Ashtamudi Lake using Nsfwqi. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Recuperado de: [www.ijetae.com](http://www.ijetae.com)

- Lucas-Vidal, L. R., & Carreño-Mendoza, Á. L. (2018). Calidad de agua de consumo humano en las comunidades Balsa en Medio, Julián y Severino de la microcuenca Carrizal, Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 21(42), 39-46.
- Muñoz, Á., Macías, S., & García, M. B. (2009). *Caracterización hidrológica del Ecuador. Proyecto INAMHI MAE-SCNPRAA-PACC*. Recuperado de [https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/07/Informe\\_Caracterizaci%C3%B3nH%C3%ADdrica.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/07/Informe_Caracterizaci%C3%B3nH%C3%ADdrica.pdf)
- NSF, National Sanitation Foundation. (2006). *Water Quality Index*. Ann Arbor, USA: National Sanitation Foundation.
- Pérez, B. A. L. A., & Álvarez, M. Ñ. (2018). Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María, Perú). *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 2(2), 98-107 DOI: 110.25127/indes.201402.201010
- Quiroz, L. S., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2018). Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador. *Centro Azúcar*, 45(1), 73-83.
- Rodríguez, J. P., Serna, J. A., & Sánchez, J. M. (2016). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 8(1), 159-167.

SNET, Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (2007). Índice de calidad del agua general "ICA". Vol. 1. El Salvador: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Solsona, F., & Méndez, J. P. (2002). *Desinfección del agua* (Vol. 1). Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiente, Organización Mundial de la Salud.

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: el valor del agua*. París, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.