

Evaluación integral de la calidad del agua del Río Pamplonita a la altura del sector Agua Clara, como apoyo a la subdirección de cambio climático y recurso hídrico de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental

Valentina Corzo Florez

Plan de trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Director

MSc. Martha Jhoana Estévez Gómez

Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hídricos y Suelos

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Arquitectura e Ingenierías

Facultad de Ingeniería Ambiental

2021

Contenido

Introducción	10
1. Objetivos	11
1.1 Objetivo General	11
1.2 Objetivos Específicos	11
2. Marco referencial	12
2.1 Marco teórico	12
2.2 Estado del Arte	14
2.3 Marco Legal	17
3. Método	18
3.1 Ejecutar trabajos de campo para el monitoreo del recurso hídrico y caracterización de parámetros fisicoquímicos en el sector de Agua Clara.	18
3.2 Recopilar la información obtenida en los monitoreos y la caracterización del agua en el sector de Agua Clara, correspondiente a 2019, 2020 y 2021.	20
3.3 Evaluar la calidad del recurso hídrico en el tramo correspondiente al sector de Agua Clara mediante los indicadores de calidad del agua establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.	21
3.3.1 Índice de Calidad del Agua (ICA).....	21
4. Resultados y Discusión	26
4.1 Monitoreo en campo.....	29
4.2 Antecedentes de la calidad del agua en el sector de Agua Clara	33
4.3 Evaluación de la calidad del recurso hídrico.....	36
4.3.1 Resultados variables in situ y ex situ.....	37

4.3.2 Determinación del Índices de Contaminación (ICO's)	39
5. Conclusiones	40
Referencias.....	42
Apéndices.....	46

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Decreto único 1076 de 2015 y su modificación</i>	17
Tabla 2. <i>Métodos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos</i>	20
Tabla 3. <i>Variables y ponderaciones para seis parámetros</i>	22
Tabla 4. <i>Valores según la condición para sólidos suspendidos totales (SST)</i>	24
Tabla 5. <i>Valores según la condición para la demanda química de oxígeno (DQO)</i>	24
Tabla 6. <i>Valores según la condición para la conductividad eléctrica (C.E)</i>	24
Tabla 7. <i>Valores según la condición para pH</i>	25
Tabla 8. <i>Valores según la condición para nitrógeno total/fosforo total (NT/PT)</i>	25
Tabla 9. <i>Clasificación de la calidad del agua</i>	25
Tabla 10. <i>Valores según la condición para contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)</i> 26	
Tabla 11. <i>Comparación de resultados obtenidos en la sonda GEO-AQUpro y en los equipos de laboratorio</i>	28
Tabla 12. <i>Resultado de oxígeno disuelto después del remplazo de la tapa del sensor</i>	28
Tabla 13. <i>Descripción de los monitoreos en campo</i>	29
Tabla 14. <i>Histórico de la caracterización del punto de Agua Clara</i>	33
Tabla 15. <i>Histórico ICA Agua Clara</i>	33
Tabla 16. <i>Evidencia de los análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorio.</i>	36
Tabla 17. <i>Resultados de parámetros de julio, agosto y septiembre</i>	37
Tabla 18. <i>ICA julio, agosto y septiembre</i>	37
Tabla 19. <i>Índice de Contaminación del agua</i>	39

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Punto de monitoreo número 17, tramo Agua Clara del rio Pamplonita.</i>	19
Figura 2. <i>Calibración de la sonda multiparamétrica</i>	27
Figura 3. <i>Histórico ICA primer semestre del 2019,2020 y 2021</i>	34
Figura 4. <i>ICA julio, agosto y septiembre</i>	38

Glosario

Caudal ambiental: volumen de agua por unidad de tiempo, en relación al régimen y calidad, para conservar el funcionamiento y adaptabilidad de los ecosistemas acuáticos. (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Coliformes fecales: es un subgrupo de los coliformes totales, su existencia está relacionada con la contaminación fecal de aguas residuales y suelos que han recibido contaminación, ya sea de seres humanos, de operaciones agrícolas o ganaderas. En este grupo se encuentra la bacteria *Escherichia coli*. (CORPONOR, 2020, p.5).

Coliformes totales: grupo de organismos bacterianos, es empleado como indicador de contaminación. Se localizan con mayor regularidad en el medio ambiente, pueden estar en el suelo y en las superficies del agua dulce, por lo que no son siempre intestinales, su determinación expone defectos en la eficacia del tratamiento y en el sistema de distribución. (CORPONOR, 2020, p.5).

Conductividad eléctrica: la conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para transportar la corriente eléctrica. Esta propiedad requiere de la presencia de iones y su concentración. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. (CORPONOR, 2020, p.6).

Contaminación: cualquier especie impropia a la constitución del medio en el que se genera. Se relaciona con aquellos agentes que por su composición pueden generar cualquier tipo de daño o alteración en el medio. (CORPONOR, 2020, p.6).

Demanda biológica de oxígeno (DBO): es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la degradación de la materia orgánica biodegradable, en condiciones anaeróbicas, por un periodo de cinco días a 20°C. (CORPONOR, 2020, p.6).

Índice de calidad del agua (ICA): es el valor numérico que califica en cinco categorías, la calidad del agua de una corriente, con base en las mediciones obtenidas de cinco o seis variables, registradas en un punto y tiempo determinado. (IDEAM, 2014)

Oxígeno disuelto: es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. El oxígeno disuelto es imprescindible para la respiración de todas las formas de vida aerobia. (CORPONOR, 2018).

Sólidos suspendidos totales: la presencia de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua indica alteraciones en las condiciones hidrológicas de la corriente. Su presencia se relaciona con procesos erosivos o vertimientos industriales. (CORPONOR, 2018).

Turbiedad: la turbiedad en el agua es provocada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica y otros microorganismos. La turbiedad es una expresión de la característica óptica que genera la luz al ser dispersada en vez de transmitida sin cambios, es decir, que hace que la luz sea reemitida y no transferida por el medio de la suspensión. (CORPONOR, 2018, p.7).

Nitrógeno: es un nutriente indispensable para el desarrollo de la flora acuática. El nitrógeno total (NT) es la cuantificación de todas formas de nitrógeno de una muestra de agua. (DANE, s.f, p.1).

Fósforo: elemento esencial para la vida, sin embargo, al igual que el nitrógeno, aporta en la eutrofización de los cuerpos de agua. El fósforo total (PT) es una proporción de la concentración biológicamente disponible que, a su vez, refleja la calidad de la corriente hídrica. Su presencia se evidencia por la realización de actividades agrícolas como el uso de fertilizantes y pesticidas, actividades ganaderas y vertimientos industriales y urbanos. (DANE, s.f, p.1).

Resumen

El agua es un recurso natural imprescindible para los seres vivos, sin embargo, es el recurso más desaprovechado y frágil de la tierra. A pesar de que los ríos son el soporte de los ecosistemas, la intervención humana por vertimientos domésticos, industriales, actividades agrícolas y ganaderas han ocasionado graves alteraciones, ya que muchas veces la capacidad de autodepuración de los ríos no es suficiente y contamina el medio natural. (CORPONOR, 2020). El río Pamplonita abastece de agua potable y a su vez es el principal receptor de las aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento en su área de influencia, esto ocasiona múltiples impactos ambientales como la degradación de la biodiversidad acuática, contaminación del aire que perjudica a la población y la proliferación de vectores. (CORPONOR, 2020). Por esto, este trabajo tuvo como propósito evaluar la calidad del agua del Río Pamplonita, específicamente en el tramo Agua Clara; para ello se compiló información sobre el estado de este punto en los años 2019, 2020 y 2021, encontrando que su calidad ha disminuido con el paso del tiempo. Los meses en los que se brindó apoyo a la subdirección de cambio climático y recurso hídrico de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, se monitorearon variables fisicoquímicas y se llevó a cabo la evaluación integral del recurso, en el que se evidenció un deterioro continuo producto de los vertimientos aguas arriba y las actividades antrópicas que se realizan en la zona.

Palabras clave: río Pamplonita, recurso hídrico, calidad del agua, deterioro

Abstract

Water is an essential natural resource for living beings, yet it is the most wasted and fragile resource on earth. Although rivers are the ecosystem's support, human intervention such like domestic and industrial discharges, agricultural and livestock activities have caused serious alterations because many times the self-purification capacity of rivers is not enough and contaminates the natural environment. (CORPONOR, 2020). The Pamplonita River supplies drinking water and is also the main recipient of untreated wastewater in its area of influence, this causes multiple environmental impacts such as the degradation of aquatic biodiversity, air pollution that harms the population and the proliferation of vectors. (CORPONOR, 2020). For this reason, the purpose of this study was to evaluate the water quality of the Pamplonita River, specifically in the Agua Clara section; to this end, information was compiled on the status of this point in the years 2019, 2020 and 2021, finding that its quality has decreased over time. During the months in which support was provided to the climate change and water resources subdirectorate of the Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, physicochemical variables were monitored and an integral evaluation of the resource was carried out, in which a continuous deterioration was evidenced as a result of upstream discharges and anthropic activities carried out in the area.

Keywords: Pamplonita River, water resources, water quality, deterioration

Introducción

El Pamplonita, objeto del presente estudio, es un río que fluye por el departamento colombiano de Norte de Santander, es tributario del Río Zulia que a su vez hace parte del Río Catatumbo.

Esta fuente hídrica expone una problemática de contaminación relacionada al crecimiento de sus municipios de influencia directa como son Pamplona, Los Patios, Cúcuta Chinácota, Bochalema y Puerto Santander, cada uno con sus asentamientos de comunidades en la ribera del recurso y vertimientos domésticos, industriales y agrícolas. Así mismo, los atributos biofísicos se diferencian de un lugar a otro por la diversidad climática que atraviesa, ya que parte desde los 3200 msnm hasta los 50 msnm. (CORPONOR, 2020).

La Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental CORPONOR, en cumplimiento de sus metas del plan de acción interinstitucional 2020-2023 de determinar la calidad del recurso hídrico, precisó el seguimiento al sector de Agua Clara sobre la cuenca hidrográfica del río Pamplonita, con la finalidad de monitorear y caracterizar las variables establecidas en el protocolo del Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM sobre el estado actual del recurso para hacer seguimiento de su calidad a través del índice de calidad del agua ICA, que es el valor numérico que califica entre 0 a 1 la calidad del agua, utilizando cinco categorías: Buena, Aceptable, Regular, Mala, Muy mala, en la que involucra los parámetros de pH, oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (NT), Fósforo total (PT) y conductividad eléctrica (CE). (CORPONOR, 2020).

Es por ello, que se realizó un seguimiento al río Pamplonita mediante un análisis comparativo del histórico de la calidad del agua en el tramo de estudio para los años 2019, 2020 y

los meses del 2021 en que se brindó apoyo a la Corporación en el tramo correspondiente al sector de Agua Clara, en el cual ha persistido una calificación “mala”. Esto, con el fin de evaluar las causas del deterioro de la calidad del recurso hídrico y los impactos relacionados a los vertimientos producto de las actividades antrópicas o posible incumplimiento a la normatividad vigente.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar la calidad del agua del Rio Pamplonita a la altura del sector Agua Clara, como apoyo en la mejora de la gestión del recurso hídrico en la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, en el marco de la práctica empresarial.

1.2 Objetivos Específicos

Ejecutar trabajos de campo para el monitoreo y caracterización fisicoquímica *in situ* del recurso hídrico en el sector de Agua Clara.

Recopilar la información relacionada con la caracterización del agua en la zona de estudio, correspondiente a los años 2019, 2020 y 2021.

Evaluar la calidad del recurso hídrico en el tramo correspondiente al sector de Agua Clara mediante los indicadores de calidad del agua establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

El *medio ambiente* es el espacio en el que se desarrolla la vida de los seres vivos y que permite la interacción de estos, está conformado por seres vivos, elementos abióticos y artificiales. (Etecé, s.f).

Los *recursos naturales* hacen referencia a bienes que son de origen natural, que no han sido modificados por las actividades humana, sin embargo, en la actualidad la sociedad los explota para lograr bienestar y desarrollo. (Etecé, s.f).

Los *cuerpos de agua* son de origen natural o artificial, ubicados sobre la superficie terrestre, integrados por elementos físicos, bióticos y volúmenes de agua, que se pueden encontrar contenidas o en movimiento. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

Las *aguas superficiales* son aquellas que fluyen o se almacenan en la superficie del terreno. (CORPONOR, 2018, p.6).

La *gestión integral del recurso hídrico* es un proceso que impulsa el aprovechamiento de los recursos hídricos y los recursos naturales, con el propósito de favorecer el bienestar social y económico sin arriesgar la perdurabilidad de los ecosistemas elementales. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f).

Todo esto mediante las siguientes acciones como: El plan Hídrico Nacional, los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, la reglamentación en materia hídrica sobre la conservación, preservación, la formulación y planteamiento de acciones dirigidas al ahorro y uso eficiente del recurso hídrico y la formulación de los planes y programas para asegurar la

disponibilidad del recurso hídrico en calidad y cantidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f).

La *calidad del agua* se puede entender como la facultad de la fuente hídrica para preservar en estabilidad el ecosistema, a su vez, la calidad depende del uso para el que se destine. Es fundamental su establecimiento para conocer el estado actual del recurso y así vigilar su desarrollo, evaluar los contaminantes y afectaciones que se ocasionan. (Sistema de información ambiental de Colombia, s.f).

El *índice de calidad del agua (ICA)* es la estimación numérica que caracteriza la calidad del agua de una corriente superficial según en las mediciones obtenidas para un grupo de cinco o seis variables en una estación y tiempo determinados. Estos valores permiten catalogar la calidad del agua de forma característica en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala o muy mala) ligados a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente). De esta manera, se facilita la interpretación, la definición de tendencias y la toma de acciones por parte de las autoridades a cargo de la protección ambiental. (IDEAM, 2014).

Los *índices de contaminación (ICOS)* permiten cuantificar la contaminación en un cuerpo de agua mediante ecuaciones que evalúan los parámetros fisicoquímicos. (Cañas, s.f)

ICOPH permite evaluar las variaciones en los valores del pH, los cuerpos de aguas pueden ser ácidos por la descomposición de la materia orgánica y por el ácido sulfúrico originario de algunos minerales. (Cañas, s.f).

ICOSUS, para establecer este índice se utiliza la concentración de partículas orgánicas e inorgánicas de una muestra que se encuentre en suspensión. (Cañas, s.f).

Corponor es la autoridad ambiental del departamento de Norte de Santander, se encarga de gobernar y custodiar por el resguardo de los recursos naturales según la reglamentación establecida por el ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Corponor, s.f).

El *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, es una entidad del gobierno que se hace cargo de la administración de la información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo que comprende el medio ambiente en Colombia. (IDEAM, 2021).

2.2 Estado del Arte

En un estudio realizado por estudiantes de la Universidad Francisco de Paula Santander para la evaluación de la cantidad y calidad del cauce principal del río Pamplonita en cinco puntos afectados por la sequía como resultado del fenómeno del niño, se determinó parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e índices de contaminación por pH y sólidos suspendidos totales, así como la comparación de antecedentes, revelando que la cuenca se ha deteriorado por varios factores: hidrológicos, meteorológicos, el crecimiento de la población, actividades antrópicas y las descargas de aguas residuales de tipo doméstico e industrial. Por otro lado, se evidenció que la estación más crítica es la del Puente San Rafael, la cual exhibe gran contaminación por las altas descargas de vertimientos domésticos, el crecimiento poblacional del municipio de los Patios, el descenso del caudal por las sequías y la captación que se presenta aguas arriba en el corregimiento de San Pedro. (Rojas, M. Eslava, D, 2015, p.98).

En el 2018, para revelar las condiciones ecológicas del recurso se aprovecharon los macroinvertebrados como bioindicadores, se realizaron 25 muestreos en el punto de Agua Clara, obteniéndose 6 familias, con un puntaje de 18 para el índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party) prevaleciendo la clasificación como aguas muy contaminadas o clase IV. Además

de esto, se observaron cultivos de arroz, así como explotación pecuaria, minas carboníferas y centros poblados. Las riberas del río son utilizadas para la disposición de residuos. (Corponor, 2018, p.153).

En un estudio efectuado en el 2019, cuya finalidad fue estimar las probables fuentes de contaminación que reducen la salud ambiental en el río Pamplonita, específicamente en El Diamante, se encontró mediante análisis que los sólidos disueltos totales, la conductividad eléctrica, el fósforo y nitrógeno total presentaron incrementos posteriores a los centros urbanos, mientras que los valores de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) aumentaron conforme avanza el río, indicando la inexistencia de zonas de recuperación. La continua descarga de aguas residuales y la escorrentía de las actividades de agricultura depositan nutrientes en el río que beneficia el incremento de materia orgánica y ocasiona la retención de metales pesados en los sedimentos del río. (Martínez, N, 2019, p.25).

De acuerdo con lo anterior, la salud ambiental de la zona está siendo afectada por diversas actividades antrópicas. Si se realizara un correcto tratamiento de las aguas residuales domesticas la calidad del agua del río lograría una mejoría. (Martínez, N, 2019, p.25).

En el año 2020, Rodríguez implementó el QUAL2K, que es un modelo de calidad de agua de una dimensión que procura representar un canal mezclado con un flujo no uniforme, en un tramo de 2 Km del río Pamplonita para simular un probable escenario de transporte de las aguas residuales a una planta de tratamiento. Esto para establecer si en este estado, el río tendría la facultad de cumplir con los valores límites decretados para vertimientos de la Resolución 0631 de 2015. Se usaron los valores de parámetros fisicoquímicos (alcalinidad, demanda química de oxígeno y solidos suspendidos totales), así como pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura del agua. Los cuatro escenarios que se plantearon fueron: Condición actual, condición

sin vertimiento doméstico y con caudal mínimo, Condición con un vertimiento que cumpla con los parámetros de la resolución 0631 de 2015 con caudal mínimo y condición de vertimiento doméstico con una carga mayor por el aumento de la población para el año 2030. (Rodríguez, D, 2020, p.71).

Al efectuar la modelación, se concluye que el río Pamplonita en ninguno de los escenarios podrá llevar a cabo los objetivos de calidad propuestos por la autoridad ambiental, en la DBO5 debido a que en la distancia más larga, el río tendrá valores de no menos de 34 mg/L y el objetivo de calidad propone un valor menor de 15 mgO₂/L, para los SST aunque se realicen medidas de prevención, como la descenso de la concentración con una PTAR o el descarte por completo del vertimiento, no se cumplirá con los objetivos de calidad, porque en este punto el río ya abarca una concentración muy prominente de SST y esto mismo ocurre con los coliformes. Es decir que el tratamiento a un solo punto de vertimiento no conlleva gran disparidad en la calidad del agua del río, por lo que es preciso incorporar más vertimientos en la modelación. (Rodríguez, D, 2020, p.71).

Según los índices de calidad del agua (ICA) que determinó la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, Corponor en el 2020, el promedio es regular, limitando al recurso hídrico de ser usado en diferentes actividades, la primera limitación que presenta el Rio Pamplonita se debe a que aguas arriba ocho municipios vierten sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento y de esta misma fuente se toma para abastecer de agua potable a la ciudad de San José de Cúcuta. Las condiciones aceptables y regulares del agua se traducen en una degradación del recurso, que, a mayor crecimiento poblacional, más vertimientos, más impactos y mayor será su degradación. (Corponor, 2020, p.38).

El promedio del índice de la calidad del agua del río Pamplonita para el 2019 y 2020 fue regular, con valores de 0,64 y 0,68 respectivamente. Tan solo 8 de los 18 puntos de muestreo del río Pamplonita son aceptables, los 10 sobrantes clasifican como regulares y malos, con valores para SST que van desde los 15,3 a 155 (mg/L) y para DBO desde 4,36 a 19 (mg/l). (Corponor, 2020, p.38).

2.3 Marco Legal

La Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, Corponor, encargada por la ley de administrar el medio ambiente, los recursos naturales renovables y garantizar su desarrollo sostenible dentro del área de su jurisdicción, de conformidad con las disposiciones legales, se basa para la toma de decisiones en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual compila toda la normativa expedida por el Gobierno Nacional, de la cual para el presente trabajo cabe resaltar la siguiente:

Tabla 1. *Decreto único 1076 de 2015 y su modificación*

Normativa	Aborda	Aplica
Decreto 3930 del 2010	Usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones	<p>Artículo 9-18. Usos del agua.</p> <p>Artículo 19. Criterios de calidad para la asignación de usos del recurso.</p> <p>Artículo 43. Evaluación ambiental del vertimiento.</p> <p>Artículo 58. Seguimiento de los permisos de vertimiento, saneamiento y manejo.</p>
Resolución 0631 de 2015	Parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles	Artículo 8. de las aguas residuales domésticas y de las aguas residuales de los prestadores de servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.

Normativa	Aborda	Aplica
Código Nacional de Recursos Naturales	Preservación y utilización racional de los recursos naturales renovables	Artículo 137. Los cuerpos de agua serán objeto de protección y control.
Código Nacional de Recursos Naturales	Preservación y utilización racional de los recursos naturales renovables	Artículo 143. Previo análisis de las fuentes receptoras de aguas negras.

Adaptado de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible et al., 2015).

3. Método

Con el fin de determinar la calidad del agua del Rio Pamplonita a la altura del sector Agua Clara, como apoyo a la gestión del recurso hídrico en la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, se establecieron las siguientes actividades:

3.1 Ejecutar trabajos de campo para el monitorio del recurso hídrico y caracterización de parámetros fisicoquímicos en el sector de Agua Clara.

La zona de interés del presente estudio se encuentra a 85 msnm, en las coordenadas X 1.182.643 Y 1.402.628, en el municipio de Cúcuta, Norte de Santander, denominado Punto de monitoreo número 17. (Corponor, 2018, p.16).

Figura 1. Punto de monitoreo número 17, tramo Agua Clara del río Pamplonita.



Tomado de (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, 2018).

Se apoyó a la subdirección de cambio climático y recurso hídrico acorde con el protocolo para el Monitoreo, Seguimiento y Análisis de Aguas Superficiales del Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). El objetivo del muestreo es el control y la vigilancia de la calidad del agua en este punto, frente a los valores permisibles establecidos en la normativa vigente.

La frecuencia del monitoreo fue mensual, el tipo de muestreo que se definió teniendo en cuenta el presupuesto, el transporte y los equipos, fue un muestreo manual, ya que permite observar cambios en las características del agua en cuanto a sustancias flotantes, color, olor, aumento o disminución de caudales. El tipo de muestra es integrada, cada una de las tres muestras fue tomada simultáneamente en diferentes zonas del río donde el agua fluía y no se encontraba estancada.

Para la determinación de la calidad del agua, se requirió la medición de parámetros fisicoquímicos como lo son pH, oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO),

sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (NT), Fósforo total (PT) y conductividad eléctrica (CE).

La medición de parámetros en campo (pH, OD, Conductividad) se realizó mediante una sonda multiparamétrica avanzada de calidad del agua proporcionada por la Corporación.

Tabla 2. *Métodos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos*

Parámetro	Método	Equipo
pH	pH en agua por electrometría	Sonda multiparamétrica avanzada de calidad del agua AQUpro
Oxígeno disuelto (OD)	Oxígeno disuelto por el método electrométrico	Sonda multiparamétrica avanzada de calidad del agua AQUpro
Demanda química de oxígeno (DQO)	Método titulométrico de reflujo cerrado	Bloque de reactor digital Hach-DRB 200, dosificador 715 Dosimat
Sólidos suspendidos totales (SST)	Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103–105 °C.	Horno de secado Fisher Scientific, balanza analítica T-Scale
Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)	Nitrógeno total método semi micro Kjeldhal - Fósforo Total en Agua método de Acido Ascórbico	Aparato de digestión, atrapa ácidos, unidad de destilación - Espectrofotómetro, cabina reactiva de vapores
Conductividad eléctrica (CE)	Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas	Sonda multiparamétrica avanzada de calidad del agua AQUpro

Adaptado de (Standard Methods, 2017).

3.2 Recopilar la información obtenida en los monitoreos y la caracterización del agua en el sector de Agua Clara, correspondiente a 2019, 2020 y 2021.

Se recopiló la información existente y validada por CORPONOR, teniendo en cuenta que para este proyecto parte de la información fue primaria, de los monitoreos realizados en campo, y la otra parte de la información fue secundaria, compilada del histórico de la calidad del agua del río Pamplonita.

Una vez reunida la información, se organizó y evaluó teniendo en cuenta el alcance, pertinencia y aplicabilidad. Así mismo, se compararon los valores de los parámetros fisicoquímicos para su revisión de cumplimiento con los acuerdos en donde se establecen los usos del agua, como lo es la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia, que establece objetivos y estrategias para el uso sostenible y aprovechamiento del agua y la resolución 0258 del 12 de mayo del 2020 en la cual CORPONOR regula el uso y aprovechamiento del agua en la cuenca del río Pamplonita.

3.3 Evaluar la calidad del recurso hídrico en el tramo correspondiente al sector de Agua Clara mediante los indicadores de calidad del agua establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

3.3.1 Índice de Calidad del Agua (ICA)

El indicador se calculó a partir de los datos de concentración de un conjunto de seis variables

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right)$$

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

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

I_{ikjt} Es el valor calculado de la variable i

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

Para esto, se recomienda que la tabla de datos del indicador incluya el valor mínimo del ICA registrado en el periodo de tiempo t y, además, el ICA promedio de ese periodo, que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICA \text{ promedio}_{njt} = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt})}{m}$$

m Es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador. $1 \leq m \leq 4$ si el periodo es anual.

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

I_{ikjt} Es el valor calculado de la variable i

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

En la siguiente tabla se resumen las variables involucradas en el cálculo del indicador para el caso en el que se emplean 6 variables, la unidad de medida en la que se registró cada uno de ellos y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo.

Tabla 3. Variables y ponderaciones para seis parámetros

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD.	% Saturación	0,17
Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0,17
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,17
NT/PT.	-	0,17
Conductividad eléctrica, CE.	μS/cm	0,17
pH	Unidades de pH	0,15

Adaptado de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

Se seleccionó la medición de 6 variables en vez de 5, para obtener una mayor exactitud en cuanto al cálculo del índice de calidad del agua, para esto, la ponderación ya está establecida para cada variable según el IDEAM, independientemente de la fuente hídrica. Esto también dependerá de la información y análisis que realice la autoridad ambiental.

Para el cálculo del valor de cada variable se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Oxígeno disuelto (OD)

$$PS_{OD} = \frac{o_x \cdot 100}{C_p}$$

o_x Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

C_p Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el valor I_{OD} se calculó con la fórmula:

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 \cdot PS_{OD})$$

Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%:

$$I_{OD} = 1 - (0,01 \cdot PS_{OD} - 1)$$

Sólidos suspendidos totales (SST)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$$

Tabla 4. Valores según la condición para sólidos suspendidos totales (SST)

Condición	Valor
Si $SST \leq 4,5$, entonces I_{SST}	1
Si $SST \geq 320$, entonces I_{SST}	0

Adaptado de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

Demanda química de oxígeno (DQO)

Tabla 5. Valores según la condición para la demanda química de oxígeno (DQO)

Condición	Valor
Si $DQO \leq 20$, entonces I_{DQO}	0,91
Si $20 < DQO \leq 25$, entonces I_{DQO}	0,71
Si $25 < DQO \leq 40$, entonces I_{DQO}	0,51
Si $40 < DQO \leq 80$, entonces I_{DQO}	0,26
Si $DQO > 80$, entonces I_{DQO}	0,125

Adaptado de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

Conductividad eléctrica (C.E)

$$I_{C.E} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \text{Log}_{10} C.E)}$$

Tabla 6. Valores según la condición para la conductividad eléctrica (C.E)

Condición	Valor
Cuando $I_{C.E} < 0$, entonces $I_{C.E}$	0

Adaptado de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

pH

Tabla 7. Valores según la condición para pH

Condición	Valor
Si $pH < 4$, entonces I_{pH}	0,1
Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces I_{pH}	$0,02628419 \cdot e^{(pH \cdot 0,520025)}$
Si $7 < pH \leq 8$, entonces I_{pH}	1
Si $8 < pH \leq 11$, entonces I_{pH}	$1 \cdot e^{[(pH-8)-0,5187742]}$
Si $pH > 11$, entonces I_{pH}	0,1

Adaptado de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)

Tabla 8. Valores según la condición para nitrógeno total/fosforo total (NT/PT)

Condición	Valor
Si $15 \leq NT / PT \leq 20$, entonces $I_{NT/PT}$	0,8
Si $10 < NT/PT < 15$, entonces $I_{NT/PT}$	0,6
Si $5 < NT / PT \leq 10$, entonces $I_{NT/PT}$	0,35
Si $NT / PT \leq 5$, o $NT/PT > 20$, entonces $I_{NT/PT}$	0,15

Adaptado de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

Los valores han sido clasificados en categorías, según ellos se califica la calidad del agua de las corrientes superficiales. En la siguiente tabla se registra la relación entre valores, calificación y un color asociado como señal de alerta:

Tabla 9. Clasificación de la calidad del agua

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Clasificación 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

Nota: las celdas sombreadas están asociados a color como señal de alerta.

Adaptado de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

3.3.2 Índice de Contaminación del Agua (ICOs)

Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos - ICOSUS

Para la determinación de este índice es necesario solo el uso del parámetro de sólidos suspendidos y se halló usando la siguiente ecuación:

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 * SS \text{ (g/m}^3\text{)}$$

Tabla 10. Valores según la condición para contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Condición	Valor
Cuando SS >340 g/m ³ , entonces ICOSUS	1
Cuando SS <10 g/m ³ , entonces ICOSUS	0

Adaptado de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

Índice de Contaminación por pH - ICOpH

Para el cálculo, se reemplazó en la siguiente formula el valor del pH

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08+3,45*pH}}{1 + e^{-31,08+3,45*pH}}$$

4. Resultados y Discusión

A continuación, se presentan en detalle las actividades y resultados obtenidos durante el desarrollo de las prácticas, las cuales teniendo en cuenta las medidas de distanciamiento social y bioseguridad establecidas por la Corporación, solo se podía asistir en determinados horarios y días.

Para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos *in situ*, la Corporación suministró la sonda multiparamétrica avanzada de calidad de agua modelo GEO-AQUpro, de la marca Geónica., la cual se sincronizó con el computador y mediante el programa Manta 2 Control Software se configuró el intervalo de tiempo entre cada registro y los sensores de interés. Antes de llevarla a campo, se realizaron pruebas para comparar cada sensor de la sonda con los equipos de laboratorio y de esta manera se estableció cual requería calibración.

Para esto, se tomó una muestra de un pozo de agua cercano al laboratorio y se determinaron los parámetros de Temperatura, Conductividad, Oxígeno Disuelto, pH y Turbidez con la sonda y con los equipos del laboratorio, los cuales se encuentran calibrados por empresas acreditadas por el IDEAM.

Figura 2. *Calibración de la sonda multiparamétrica*



Tabla 11. Comparación de resultados obtenidos en la sonda GEO-AQUpro y en los equipos de laboratorio

Parámetro	Sonda GEO-AQUpro	Equipos de laboratorio	Porcentaje de error
Temperatura (°C)	24,19	23,7	0,49
Conductividad eléctrica (uS/cm)	242,6	241,4	1,2
Turbidez (NTU)	25	24,6	0,4
Oxígeno disuelto (mg/l)	5,75	4,1	1,65
pH	7,70	7,73	0,03

Para los parámetros de Temperatura, Conductividad, pH y Turbidez la variación de los valores arrojados se encuentra dentro del rango aceptable. Sin embargo, el Oxígeno Disuelto presenta valores muy altos registrados por la Sonda GEO-AQUpro para corroborar, se realizó en el laboratorio pruebas con el medidor de oxígeno disuelto y posteriormente, se aplicó el método winkler. En ambos casos, al comparar los valores, la diferencia es muy grande.

Se procedió a leer el manual del equipo el cual establece que, para el oxígeno disuelto, se debe cambiar la tapa del sensor cada 4 años para su correcto funcionamiento. A partir de esto, se realizó la compra de la pieza y al efectuar nuevamente las pruebas, el equipo mostró resultados aceptables.

Tabla 12. Resultado de oxígeno disuelto después del remplazo de la tapa del sensor

Parámetro	Sonda GEO-AQUpro	Equipos de laboratorio
Oxígeno disuelto (mg/l)	4,1	4,05



4.1 Monitoreo en campo




Para el mes de junio no se efectuó la salida a campo debido a que durante estas primeras semanas se realizó la inducción y capacitación para la entrada al laboratorio. Los trabajos de campo se realizaron en julio, agosto y septiembre de 2021.

El detalle de los monitoreos se encuentra en el apéndice A.

Tabla 13. *Descripción de los monitoreos en campo*

Mes	Generalidades del trabajo de campo	Observaciones
Julio	Se aplazó la salida a campo en varias ocasiones por las lluvias. Condiciones ambientales: día soleado, tiempo seco, temperatura de 32 °C. Al llegar al sector donde generalmente se toman las muestras, se encontró que se está remodelando el puente vehicular, por lo cual se tuvo que tomar un punto un poco más abajo.	Diferentes actividades antrópicas en la zona, como el paso de tractores por el río y de motocicletas a través de un puente.
Mes	Generalidades del trabajo de campo	Observaciones

Mes	Generalidades del trabajo de campo		Observaciones		
Evidencia fotográfica					
					
Resultados <i>in situ</i>	Temp deg °C 27,8	SpCond uS/cm 261	pH units 7,7	HDO mg/l 3,74	
Agosto	Condiciones ambientales: día soleado, tiempo seco, temperatura de 29,2 °C.		Se observó trabajos de infraestructura en la remodelación del puente, cultivos de arroz y plátano cercanos a la zona, la presencia de un puente colgante provisional construido por la comunidad y el paso de vehículos a través del río.		

Mes	Generalidades del trabajo de campo		Observaciones		
Evidencia fotográfica					
					
Resultados <i>in situ</i>	Temp deg °C 29,1	SpCond uS/cm 410	pH units 7,6	HDO mg/l 3,7	
Septiembre	Condiciones ambientales: día soleado, tiempo seco, temperatura de 29°C.		Se evidenció rastros del paso de vehículos de carga pesada por el río y su ribera, transporte de combustible y mercancía hacia Venezuela y una motobomba en la obra de mejoramiento del puente.		

Mes	Generalidades del trabajo de campo	Observaciones
Evidencia fotográfica		

Resultados <i>in situ</i>	Temp deg °C	SpCond uS/cm	pH units	HDO mg/l
	29	245	7,4	3

4.2 Antecedentes de la calidad del agua en el sector de Agua Clara

A continuación, se reportan los datos de caracterización del río Pamplonita en el sector Agua Clara (punto de monitoreo número 17) para los años 2019, 2020 y del primer semestre de 2021.

Tabla 14. *Histórico de la caracterización del punto de Agua Clara*

Año	Temperatura del agua (°C)	pH	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)
2019	29,3	7,57	511	4,15	45,5	14,9	4,35	0,893
2020	27,5	7,74	419	5,3	54	17	3,43	0,553
Primer semestre 2021	28,2	7,56	359	3,61	286,8	23,8	3,53	0,376

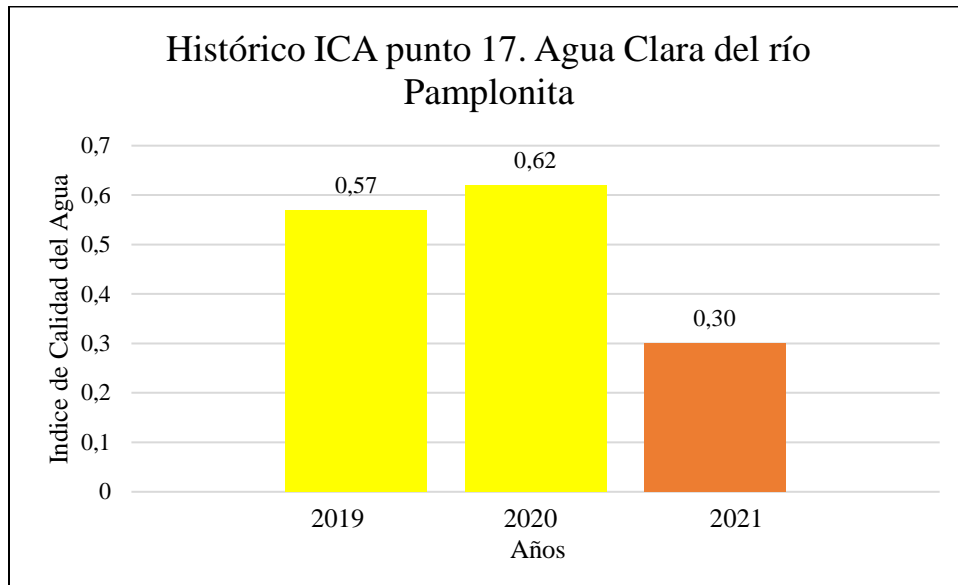
Adaptado de (Corporación Autónoma Regional de Frontera Nororiental, 2021).

Con la información recopilada se realizó el cálculo del Índice de Calidad del Agua para los tres años en estudio.

Tabla 15. *Histórico ICA Agua Clara*

AÑO	2019	2020	2021
ICA	0,57	0,62	0,30
NIVEL DE CONTAMINACIÓN	REGULAR	REGULAR	MALA

Nota: las celdas sombreadas están asociados a color como señal de alerta.

Figura 3. *Histórico ICA primer semestre del 2019,2020 y 2021*

Según la información suministrada por CORPONOR, la calidad del agua entre el 2019 y 2020 presenta una variación positiva de 8,7%, esto se debe principalmente a la pandemia, la cual obligó a suspender el funcionamiento de la mayoría de las industrias, así como comercio de la zona. Sin embargo, persistió un nivel de contaminación regular.

Para el primer semestre de este año disminuyó la calidad del agua, con una variación de -51,6%, encontrándose en una clasificación mala. Las principales causas de esto se pueden atribuir a la reactivación del comercio entre Colombia y Venezuela luego de la pandemia, ya que es a través del río Pamplonita que se realiza el paso de mercancía, además, se deben tener en cuenta las precipitaciones que alteran los resultados obtenidos en campo.

La temperatura en el 2020 disminuyó en este punto, esto se puede explicar con la contingencia del Covid-19, la mayoría de las industrias que se encuentran aguas arriba son plantas coquizadoras, incluso, un centro de acopio de carbón se localiza en la ribera del río unos metros más arriba del punto de Agua Clara, la pandemia obligó a muchas industrias a cerrar por varios

meses, lo que favoreció a la fauna y flora, ya que, a menor temperatura, mayor cantidad de oxígeno transporta, siendo el oxígeno disuelto un factor fundamental del estado del agua. Sin embargo, para el 2021 la temperatura aumentó y el oxígeno disuelto disminuyó.

El pH se mantuvo constante, sin grandes alteraciones, encontrándose en los rangos establecidos en el Decreto único reglamentario 1076 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.10 Criterios de calidad para preservación del fauna y flora del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, para pH entre 4,5 – 9 y temperatura <40°C.

La conductividad se define como la capacidad del agua de transportar corriente eléctrica, es decir las sustancias disueltas ionizadas, se relaciona con los sólidos suspendidos que, a su vez, se pueden ver alterados por las precipitaciones.

Los sólidos suspendidos totales fueron uno de los factores por el cual el índice de calidad del agua del primer semestre del 2021 fue malo, los años anteriores presentaba valores aceptables (entre 45 y 55 mg/L) lo cual se relaciona con la turbidez para 2019 y 2020 de 31 y 50 NTU respectivamente, sin embargo, el promedio de este parámetro es muy alto (286,8 NTU), al revisar los valores mes a mes, se encontró que en mayo, los sólidos suspendidos totales fueron de 966 mg/L, esto se explica debido a las constantes lluvias en ese tiempo, ya que a pesar de que el día del muestreo fue en tiempo seco, el río ya presentaba mayor concentración de sólidos.

A su vez, otro parámetro que aumentó fue la Demanda Química de Oxígeno, la cual determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica y que entre mayor sea su valor, más grave será la contaminación al recurso hídrico. Su identificación se debe a que en las zonas aledañas y riberas del río hay diversos cultivos agrícolas, para los cuales se hace uso de pesticidas y plaguicidas, que por escorrentía llegan al cuerpo de agua y afecta la calidad del

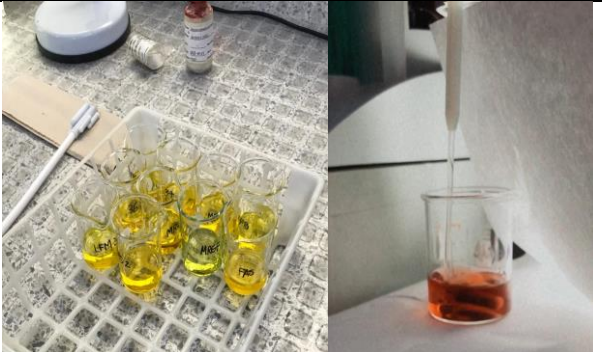

recurso, pues el poder de amortiguamiento y la capacidad ambiental de asimilación de las descargas disminuyen.

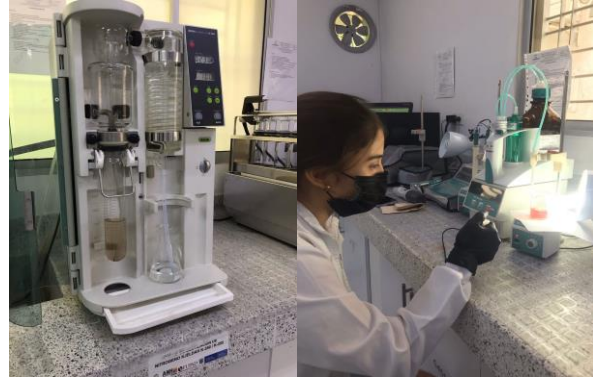
El Fósforo y Nitrógeno total tuvieron un comportamiento estable en los tres años, por lo que no hay ningún cambio externo de mayor relevancia.

4.3 Evaluación de la calidad del recurso hídrico

Teniendo en cuenta que los laboratorios de la Corporación cuentan con la acreditación del IDEAM, se debe cumplir con los protocolos estipulados en el Manual de Higiene y Seguridad y los métodos establecidos por el Standard Methods para los análisis de los parámetros fisicoquímicos *ex situ*. La descripción del método se encuentra en el apéndice B.

Tabla 16. Evidencia de los análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorio.

Parámetro	Evidencia fotográfica
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	
Sólidos suspendidos totales (SST)	

Nitrógeno Total/ Fósforo total (NT/PT)**4.3.1 Resultados variables in situ y ex situ**

Los ensayos mencionados anteriormente, se realizaron mensualmente para las muestras de agua recolectadas en el área de estudio (Punto de monitoreo número 17, sector Agua Clara).

Tabla 17. Resultados de parámetros de julio, agosto y septiembre

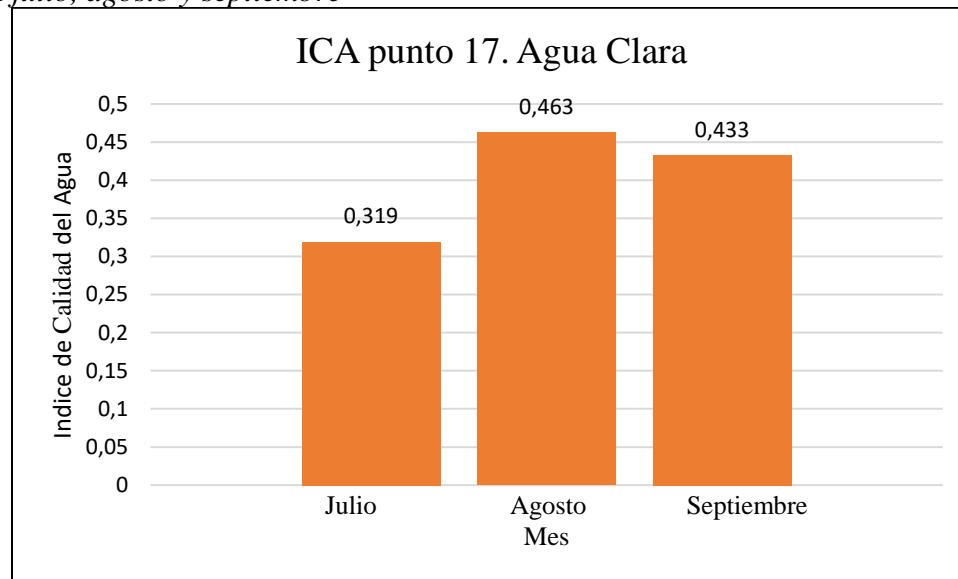
Mes	Temperatura del agua (°C)	pH	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)
Julio	27,8	7,6	261	3,74	532	19,5	3,9	0,55
Agosto	29,1	7,6	410	3,7	42,2	19,3	2,7	0,41
Septiembre	29	7,4	245	3	73,2	22,2	3,2	0,24

Es así como se determinó el Índice de calidad del agua para cada uno de los meses en los que se realizó monitoreo.

Tabla 18. ICA julio, agosto y septiembre

Mes	Julio	Agosto	Septiembre
ICA	0,319	0,462	0,433
Nivel de contaminación	MALA	MALA	MALA

Nota: las celdas sombreadas están asociados a color como señal de alerta

Figura 4. ICA julio, agosto y septiembre

Para el Punto 17. Agua Clara, se obtuvieron valores de ICA entre 0.31, 0,46 y 0,43, lo que corresponde a una calidad mala.

Las aguas con un ICA de categoría mala pueden sostener muy poca biodiversidad y la vida acuática se encuentra amenazada en este punto. A pesar de que esta categoría entre regular y mala se ha mantenido durante varios años, es importante resaltar que las lluvias y las actividades antrópicas en la zona contribuyeron a los resultados obtenidos.

En la zona se observó el uso de motobombas y maquinaria pesada para la socavación del río; así como la captación de agua para los cultivos de arroz y el desarrollo de actividades de ganadería; el paso de camiones de carga a través de la corriente hídrica y la disposición de residuos sólidos en la ribera del río.

La temperatura y el pH del agua se mantienen en relación con el primer semestre del año, al igual que el oxígeno disuelto, en el cual 5 mg/L es un valor aceptable y <3mg/L es letal para la

fauna; sin embargo, estos valores no se encuentran dentro de los criterios de calidad para la conservación de fauna y flora ($\geq 4\text{mg/L}$).

A pesar de que en los tres meses la calidad del agua fue mala, el mes de julio fue el que mostró resultados más bajos (ICA 0,319), esto se debe principalmente a los sólidos suspendidos totales, ya que, en este mes, al igual que en mayo, se presentaron altas precipitaciones que ocasionaron dichas modificaciones en la fuente hídrica. Los siguientes meses se lograron resultados aceptables para sólidos suspendidos.

El Nitrógeno y Fósforo total permanecieron estables durante los tres meses, los altos valores de estos parámetros pueden causar eutrofización, lo que genera la disminución del oxígeno. Esto se evidenció en el mes de septiembre, que presentó solo 3mg/L de oxígeno disuelto.

4.3.2 Determinación del Índices de Contaminación (ICO's)

En cuanto a los ICO's, únicamente se presenta contaminación muy alta por sólidos suspendidos para el mes de julio, en coherencia con las constantes lluvias que se presentaron en este tiempo.

Tabla 19. Índice de Contaminación del agua

Mes	Índice de contaminación	Valor variable	ICO	Contaminación
Julio	ICOSUS	532	1	MUY ALTA
	ICOPH	7.6	0.007	NINGUNA
Agosto	ICOSUS	42.2	0.106	NINGUNA
	ICOPH	7.6	0.007	NINGUNA
Septiembre	ICOSUS	73.2	0.196	NINGUNA
	ICOPH	7.4	0.003	NINGUNA

Nota: las celdas sombreadas están asociados a color como señal de alerta.

Esto permite evidenciar que se presenta una baja calidad del agua asociada a los sólidos suspendidos, así como al contenido orgánico procedente de las descargas aguas arriba que, a su vez, agotan el oxígeno disuelto poniendo en riesgo la fauna acuática.

5. Conclusiones

La calidad del agua del río Pamplonita en el punto de Agua Clara evidencia un constante deterioro producto de los vertimientos con altas cargas contaminantes aguas arriba, siendo el receptor de las aguas residuales de gran parte de los municipios de Norte de Santander. A pesar de que de dicha corriente hídrica se capta el agua de consumo para Cúcuta y toda su área metropolitana, la calidad de este recurso en la mayoría de los puntos es regular y mala.

El punto de Agua Clara además del alto nivel de contaminación que presenta, también expone problemáticas debido al paso constante de diferentes tipos de mercancías y materiales, el alto flujo de comerciantes y el asentamiento de comunidades inmigrantes en la ribera del río, lo cual no se encuentra previsto en Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca.

En cuanto a los Índices de Contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), en agosto y septiembre presentaron índices cercanos a cero y no representan mayor afectación, únicamente en julio se presentó muy contaminado. Sin embargo, el ICA malo de agosto se justifica con los altos valores de conductividad eléctrica y para septiembre por el aumento de la demanda química de oxígeno y la disminución del oxígeno disuelto. Para ICOPH, la variación de los valores es casi nula, además, para el cálculo del ICA, este parámetro es el que menor ponderado tiene en comparación con los otros cinco que se evalúan.

Es importante resaltar que durante los meses del 2020 en los que se suspendieron las actividades industriales, se evidenció una pequeña mejoría en la calidad del agua, esto es el indicio

de que se pueden lograr cambios si se regulan y monitorean los vertimientos con mayor frecuencia y rigurosidad a la normativa.

Se recomienda ejercer mayor control sobre los vertimientos realizados al río Pamplonita, especialmente los derivados de las actividades industriales y agrícolas de los municipios de influencia directa para la adecuada gestión del recurso en el desarrollo de actividades económicas.

Así mismo, a pesar de que hace varios años se trabaja la idea de la implementación de una planta de tratamiento de agua residual, hasta hace pocos meses se llevó a cabo el convenio con la Universidad Francisco de Paula Santander para el diseño de esta, lo cual es primordial para que el río logre auto depurarse y recuperar esta importante corriente hídrica.

Referencias

- American Water Works Association. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd edition). Water Environment Federation.
- Cañas, S. (s.f). *Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua*. Universidad Militar Nueva Granada.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10901/articulo%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. (1974). Artículo 137. *Serán objeto de protección y control especial*. Artículo 143. *Previo análisis de las fuentes receptoras de aguas negras*. Función pública.
https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental. (2018). *Rio Tejo, calidad fisicoquímica y microbiológica*. Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental.
http://corponor.gov.co/calidad_agua/2018/11_RIO_TEJO_CALIDAD_FISICO_QUIMICA_MICROBIOLOGICA_2018/2_DEFINICIONES.pdf
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental. (2018). *Análisis de calidad biológica del agua del rio Pamplonita*. Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental.
http://corponor.gov.co/calidad_agua/2018/1_RIO_PAMPLONITA2018/4_ANALISIS_CALIDAD_BIOLOGICA_DEL_AGUA_RIO_PAMPLONITA.pdf
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (2020). *Informe caracterización río Pamplonita, caracterización quebrada Iscalá fisicoquímico y microbiológico*. Corporación

Autónoma Regional de la Frontera Nororiental.

http://corponor.gov.co/calidad_agua/2020/RIO_PAMPLONITA_QISCALA/1.INFORME_CHARACTERIZACION_RIO_PAMPLONITA_CHARACTERIZACION_QUEBRADA_ISCALA.pdf

Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental. (s.f). Quiénes somos. CORPONOR.

<http://www.corponor.gov.co/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s.f). *Sistema de Información del Medio*

Ambiente.

DANE.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Nitrogenos_totales_13.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s.f). *Sistema de Información del Medio*

Ambiente.

DANE.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Fosforos_totales_13.pdf

Etecé. (s.f). *Recursos naturales*. Concepto. <https://concepto.de/que-son-y-cuales-son-los-recursos-naturales/>

Etecé. (s.f). *Medio ambiente*. Concepto. <https://concepto.de/medio-ambiente/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Hoja metodológica para la determinación de sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 –105°C*. IDEAM.

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2011). *Hoja metodológica del índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)*. IDEAM.

http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/363.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015, 2 de junio). *Informe de gestión final consolidado 2014 enero 31*. IDEAM.

http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/transparencia-y-acceso-a-informacionpublica/informesdegestion?p_p_id=110_INSTANCE_vI9N5o33W7J5&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_110_INSTANCE_vI9N5o33W7J5_struts_action=%2Fdocument_library_display%2Fview_file_entry&_110_INSTANCE_vI9N5o33W7J5_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Fatencion-y-participacion-ciudadana%2Ftransparencia-y-acceso-a-informacion-publica%2Finformes-de-gestion%2F%2Fdocument_library_display%2FvI9N5o33W7J5%2Fview%2F359116&_110_INSTANCE_vI9N5o33W7J5_fileEntryId=387304

IDEAM. (1 de 03 de 2021). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/>

Martínez, N. (2019). *Evaluación de la salud ambiental en la cuenca del río pamplonita en el trayecto Pamplona-Cúcuta, Colombia*. [(Trabajo de grado), Facultad de ciencias]. Universidad de los Andes. Repositorio Uniaandes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44513/u830637.pdf?sequence=1>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f). *Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Ministerio de ambiente. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recursohidrico#:~:text=La%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20del%20Recurso%20H>

C3%ADdrico%20(GIRH)%20busca%20orientar%20el,la%20protecci%C3%B3n%20de
%20los%20ecosistemas

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Función pública.
https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=78153

Rodríguez, D. (2020). *Implementación del modelo de calidad de agua qual2k, sobre un tramo del río Pamplonita, para simulación de escenarios*. [(Tesis de especialización), Programa de especialización en seguridad de la información]. Universidad Católica de Colombia.
Repositorio Universidad Católica de Colombia.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25529/1/IMPLEMENTACI%2B%C3%B4N%20DEL%20MODELO%20DE%20CALIDAD%20DE%20AGUA%20QUAL2K%2C%20SOBRE%20UN%20TRAMO%20DEL%20R%2B%C3%ACO%20PAMPLONITA%2C%20PARA%20SIMULACI%2B%C3%B4N%20DE%20ESCENAR%2B%C3%ACOS.pdf>

Rojas, M. Eslava, D. (2015). *Evaluación de la cantidad y calidad del cauce principal del río Pamplonita en cinco puntos de interés, afectados por la sequía como consecuencia del “fenómeno el niño”, temporada 2014-2015*. [(Tesis de grado), Ingeniería biotecnológica]. Universidad Francisco de Paula Santander.
<http://alejandria.ufps.edu.co/descargas/tesis/1610514.pdf>

Sistema de información Ambiental de Colombia. (s.f). *Calidad del Agua*. SIAC.
<http://www.siac.gov.co/calidadagua>

Apéndices

Apéndice A. Resultados in situ y cálculo del ICA de los meses de julio, agosto y septiembre

El primer monitoreo se llevó a cabo el sábado 24 de julio, a las 8:15 de la mañana se procedió a tomar simultáneamente tres muestras a la mitad del río (ya que es la zona más profunda) y a diferentes alturas para así conformar la muestra integrada. De la misma manera, se introdujo la sonda multiparamétrica, sin embargo, no estaba muy alejada de la orilla ya que debe estar conectada al computador, a pesar de ello, se buscó una zona donde el agua fluía y a partir de ahí se empezaron a registrar los datos cada cinco minutos durante una hora y media.

Resultados obtenidos de la sonda multiparamétrica GEO-AQUpro en Julio

Fecha	Hora	Temp deg °C	SpCond uS/cm	pH units	HDO mg/l
24/07/2021	8:27:29	27.7	261.1	7.5	3.75
24/07/2021	8:32:29	27.7	261.1	7.6	3.75
24/07/2021	8:37:29	27.7	261.2	7.5	3.75
24/07/2021	8:42:29	27.8	261.2	7.6	3.73
24/07/2021	8:47:29	27.8	261.2	7.6	3.74
24/07/2021	8:52:29	27.8	261.2	7.6	3.74
24/07/2021	8:57:29	27.8	261.2	7.6	3.74
24/07/2021	9:02:29	27.8	261.2	7.6	3.75
24/07/2021	9:07:29	27.8	261.2	7.6	3.75
24/07/2021	9:12:29	27.8	261.2	7.6	3.75
24/07/2021	9:17:29	27.8	261.1	7.6	3.73
24/07/2021	9:22:29	27.8	261.2	7.6	3.75
24/07/2021	9:27:29	27.8	261.2	7.6	3.74
24/07/2021	9:32:29	27.8	261.2	7.6	3.74
24/07/2021	9:37:29	27.8	261.2	7.6	3.75
24/07/2021	9:42:29	27.8	261.2	7.6	3.75
24/07/2021	9:47:29	27.8	261.2	7.6	3.75
24/07/2021	9:52:29	27.8	261.2	7.6	3.75
24/07/2021	9:57:29	27.8	261.2	7.6	3.73
Promedio		27.8	261.2	7.6	3.74

Cálculo del Índice de Calidad del agua del mes de julio

ICA julio					
Parámetros	UDM	Valor índice	Valor variable	Ponderación	Valor ICA
PH	U.PH	1	7,6	0,15	0,15
DQO	mg/l	0,91	19,5	0,17	0,1547
Oxígeno disuelto	% satu	0,0374	3,74	0,17	0,006358
Conductividad Eléctrica	µs/cm	0,0478	261	0,17	0,008120083
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	0	532	0,17	0
Nitrógeno/Fósforo Total	-	0,35	7,09	0,17	0,0595
Total					0,319
Nivel de contaminación					MALA

Nota: las celdas sombreadas están asociados a color como señal de alerta.

El 27 de agosto se realizó el segundo monitoreo, A las 10.30am se introdujo a río Pamplonita la sonda multiparamétrica durante una hora y media para registrar los datos, luego de esto, se tomaron las tres muestras simultaneas que conformaron la muestra integrada.

Resultados obtenidos de la sonda multiparamétrica GEO-AQUpro en Agosto

DATE	TIME	Temp deg °C	SpCond uS/cm	pH units	HDO mg/l
27/08/2021	10:30	29	409.9	7.58	3.7
27/08/2021	10:35:17	29	409.9	7.59	3.8
27/08/2021	10:40:17	29	410	7.59	3.7
27/08/2021	10:45:17	29.1	410	7.59	3.7
27/08/2021	10:50:17	29.1	410	7.59	3.7
27/08/2021	10:55:17	29.1	410	7.59	3.7
27/08/2021	11:00:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:05:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:10:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:15:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:20:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:25:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:30:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:35:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:40:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:45:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:50:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	11:55:17	29.1	410	7.6	3.7
27/08/2021	12:00:17	29.1	410	7.6	3.7

DATE	TIME	Temp deg °C	SpCond uS/cm	pH units	HDO mg/l
Promedio	29.1	410	7.6	3.7	

Cálculo del Índice de Calidad del agua del mes de agosto

ICA					
Parámetros	UDM	Valor índice	Valor variable	Ponderación	Valor ICA
PH	U.PH	1	7.6	0.15	0.15
DQO	mg/l	0.91	19.3	0.17	0.1547
Oxígeno disuelto	% satu	0.039	3.7	0.17	0.00663
Conductividad Eléctrica	µs/cm	0.0000	410	0.17	0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	0.8934	42.2	0.17	0.151878
Nitrógeno/Fósforo Total	-	0.35	6.5	0.17	0.0595
Total					0.462
Nivel de contaminación					MALO

Nota: las celdas sombreadas están asociados a color como señal de alerta.

El monitoreo para el mes de septiembre se llevó a cabo el día 20, A partir de las 9:00 am se tomaron los datos *in situ* con la sonda y se recolectaron las muestras para los análisis *ex situ*.

Resultados obtenidos de la sonda multiparamétrica GEO-AQUpro en Septiembre

DATE	TIME	Temp deg °C	SpCond uS/cm	pH units	HDO mg/l
20/09/20201	9:05:10	29	245	7.38	2.9
20/09/20201	9:10:10	29.1	245	7.38	2.9
20/09/20201	9:15:10	28.9	245.1	7.38	2.9
20/09/20201	9:20:10	29	245.1	7.38	3
20/09/20201	9:25:10	29	245	7.38	3
20/09/20201	9:30:10	29	245	7.38	3
20/09/20201	9:35:10	29	244.9	7.38	3
20/09/20201	9:40:10	29.1	244.9	7.39	3
20/09/20201	9:45:10	29	245	7.38	3
20/09/20201	9:50:10	29.1	245	7.39	3
20/09/20201	9:55:10	29	244.9	7.39	3

DATE	TIME	Temp deg °C	SpCond uS/cm	pH units	HDO mg/l
20/09/20201	10:00:10	29.1	244.9	7.39	3
20/09/20201	10:05:10	29.1	245	7.39	3
20/09/20201	10:10:10	29.1	245	7.39	3
20/09/20201	10:15:10	29.1	245	7.39	3
20/09/20201	10:20:10	29	245	7.39	3
20/09/20201	10:25:10	29	245	7.39	3
20/09/20201	10:30:10	29	245	7.39	3
20/09/20201	10:35:10	29	245	7.39	3
Promedio		29	245	7.4	3

Cálculo del Índice de Calidad del agua del mes de septiembre

ICA					
Parámetros	UDM	Valor índice	Valor variable	Ponderación	Valor ICA
PH	U.PH	1	7.4	0.15	0.15
DQO	mg/l	0.71	22.2	0.17	0.1207
Oxígeno disuelto	% satu	0.029	3	0.17	0.00493
Conductividad Eléctrica	µs/cm	0.1261	245	0.17	0.02142988
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	0.8004	73.2	0.17	0.136068
Nitrógeno/Fósforo Total	-	0.8	13.3	0.17	0.136
Total					0.433
Nivel de contaminación					MALO

Nota: las celdas sombreadas están asociados a color como señal de alerta.

Apéndice B. *Descripción de los métodos empleados en los laboratorios, establecidos por el Standard Methods*

Demanda Química de Oxígeno (DQO): El método titulométrico de refluo cerrado consistió primeramente en usar una solución de digestión de dicromato según los rangos establecidos, los cuales dependen de la concentración de la muestra, esto se adicionó en un tubo de borosilicato, se le adicionó el reactivo de ácido sulfúrico concentrado, se selló y agitó. (American Water Works Association, 2017).

Seguidamente, se procedió a la digestión de la muestra en el bloque de calentamiento a 150°C por dos horas, se dejó enfriar y se transfirió a un vaso de precipitado. Para la titulación, se adicionaron dos gotas de indicador de ferroína y solución FAS, el punto final de la titulación se dio cuando cambió del tono verde azulado al naranja rojizo brillante. Finalmente, se registró el volumen de solución titulante gastado. (American Water Works Association, 2017).

Sólidos suspendidos totales (SST): Este método se basó en instalar el filtro o disco de fibra de vidrio en un equipo de filtración, se tomó una alícuota de la muestra y se registró el volumen filtrado. Se retiró el disco con ayuda de una microspátula y se llevó al horno a 103-105 °C durante 1 hora, luego de esto se introdujo en el desecador y se dejó enfriar por 15 minutos hasta alcanzar temperatura ambiente, se pesó y registró. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

Este proceso de secado, enfriado y pesado se repitió hasta que la máxima variación aceptada en el peso del conjunto fue de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumplía, había alcanzado peso constante. De no ser así, se debía realizar a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpliera con lo mencionado anteriormente. (American Water Works Association, 2017).

Nitrógeno Total (NT): El método semi micro Kjeldhal consistió en agregar la muestra, el reactivo de digestión y cinco o seis perlas de ebullición al tubo Kjeldhal, se ajustó en el aparato de digestión y se calentaron los balones hasta que la solución se hizo verde pálido, se dejó enfriar y se transfirió al aparato de destilación micro- Kjeldhal, se agregó el reactivo de hidróxido-tiosulfato de sodio. (American Water Works Association, 2017).

Luego de esto, se destiló, se recogió de 30 a 40 ml de destilado y se le agregó cuatro gotas de indicador mixto para la determinación volumétrica. Para la medición final, se tituló el amoniaco

destilado con ácido sulfúrico hasta que el indicador cambió a color lavanda pálido y se registró la cantidad usada. (American Water Works Association, 2017).

Fosforo Total (PT): Para el método de ácido ascórbico para la determinación de fósforo total se digirió una alícuota de muestra con ácido sulfúrico y ácido nítrico hasta que la solución se tornó incolora, se dejó enfriar y se agregó agua destilada, fenolftaleína, hidróxido de sodio y una o dos gotas de ácido sulfúrico para neutralizar la solución. (American Water Works Association, 2017).

Seguidamente, se preparó el reactivo y se agregó a la muestra, en el espectrofotómetro se midió la absorbancia de cada muestra con un blanco de reactivos como solución de referencia. (American Water Works Association, 2017).